



TUGAS AKHIR - TF 141581

**PREDIKSI KENYAMANAN TERMAL PADA
RUANG SEMINAR PASCA SARJANA
DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA ITS**

MUSTAHANA
NRP 02311645000026

Dosen Pembimbing
Ir. Sarwono, MM
Dr. Ridho Hantoro, ST., MT

**DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018**

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan



FINAL PROJECT TF 141581

***PREDICTION OF THERMAL COMFORT IN AFTER
GRADUATE SEMINAR ROOM OF ENGINEERING
PHYSICS DEPARTMENT ITS***

MUSTAHANA
NRP 02311645000026

Supervisor
Ir. Sarwono, MM
Dr. Ridho Hantoro, ST., MT

***ENGINEERING PHYSICS DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018***

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Mustahana
NRP : 02311645000026
Departemen / Prodi : Teknik Fisika / S1 Teknik Fisika
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “Prediksi Kenyamanan Termal Pada Ruang Seminar Pasca Sarjana Departemen Teknik Fisika ITS” adalah benar-benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari orang lain. Apalagi di kemudian hari terbukti terdapat plagiat pada Tugas Akhir ini, maka saya bersedia untuk menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 18 Juli 2018
Yang membuat pernyataan,



Mustahana
NRP.02311645000026

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

**LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR**

**PREDIKSI KENYAMANAN TERMAL PADA RUANG
SEMINAR PASCA SARJANA DEPARTEMEN
TEKNIK FISIKA ITS**

Oleh :
Mustahana
NRP. 02311645000026

Surabaya, 18 Juli 2018

Menyetujui,

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



Ir. Sarwono, M.M
NIP. 19580530 198303 1 002



Dr. Ridho Hantoro, ST, MT
NIP. 19761223 200501 1 001

Mengetahui,
**Kepala Departemen
Teknik Fisika FTI-ITS**



Agus Muhammad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D
NIPN. 19780902 200312 1 002

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

**PREDIKSI KENYAMANAN TERMAL PADA RUANG
SEMINAR PASCA SARJANA DEPARTEMEN
TEKNIK FISIKA ITS**

TUGAS AKHIR


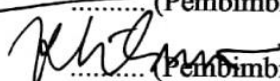


Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Mustahana

NRP. 02311645000026

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Ir. Sarwono, M.M.  (Pembimbing I)
2. Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.  (Pembimbing II)
3. Ir. Harsono Hadi, M.T., Ph.D.  (Ketua Penguji)
4. Andi Rahmadiansah, S.T., M.T.  (Penguji)

**SURABAYA
JULI 2018**

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

PREDIKSI KENYAMANAN TERMAL PADA RUANG SEMINAR PASCA SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA ITS

Nama Mahasiswa : Mustahana
NRP : 02311645000026
Departemen : Teknik Fisika FTI-ITS
Pembimbing : 1. Ir. Sarwono, MM
2. Dr. Ridho Hantoro, ST., MT

ABSTRAK

Pembangunan gedung baru Pasca Sarjana Teknik Fisika merupakan investasi jangka panjang yang sedapat mungkin memberikan kenyamanan bagi setiap civitas akademik dalam pelaksanaan aktivitasnya. Kenyamanan termal dalam ruangan akan meningkatkan produktivitas kerja. Gedung baru Pasca Sarjana Teknik Fisika dilengkapi dengan 8 ventilasi alami berupa jendela dengan masing – masing berorientasi barat dan timur. Oleh karena itu, dengan memanfaatkan infrastruktur yang ada maka dilakukan penelitian mengenai prediksi kenyamanan termal dengan ventilasi alami berupa bukaan jendela. Pada penelitian ini dilakukan pengukuran untuk mengetahui besarnya temperatur dinding, kecepatan angin yang masuk melalui jendela, dan radiasi matahari. Selain itu, juga dilakukan simulasi menggunakan *Computational Fluid Dynamics* (CFD) untuk mengetahui persebaran temperatur dan kecepatan angin didalam ruangan. Penelitian ini memiliki 8 simulasi utama berdasarkan bukaan jendela. Hal ini dilakukan untuk memprediksi tingkat kenyamanan termal terhadap penghuni. Dari hasil simulasi dan pengukuran didapatkan variasi 1 menghasilkan kenyamanan termal paling rendah dengan PMV 1,97 dan tingkat ketidaknyamanan penghuni (PPD) sebesar 75 %. Sedangkan variasi 4 menghasilkan tingkat kenyamanan termal paling tinggi dengan PMV 1,12 dan tingkat ketidaknyamanan penghuni (PPD) sebesar 32 %.

Kata Kunci : Kenyamanan termal, PMV, PPD, Ventilasi Alami.

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

**PREDICTION OF THERMAL COMFORT IN NEW AFTER
GRADUATE SEMINAR ROOM OF ENGINEERING
PHYSICS DEPARTMENT ITS**

Name : Mustahana
NRP : 02311645000026
Departement : Teknik Fisika FTI-ITS
Supervisor : 1. Ir. Sarwono, MM
2. Dr. Ridho Hantoro, ST., MT

ABSTRACT

The construction of a new building Post-Graduate Engineering Physics is a long-term investment that as much as possible provide comfort for every academic community in the implementation of its activities. Thermal comfort in the room will increase work productivity. The new Post Graduate Building in Engineering Physics is equipped with 8 natural ventilation windows with each oriented west and east. Therefore, by utilizing the existing infrastructure then conducted research on thermal comfort prediction with natural ventilation in the form of window openings. In this study, the measurements were carried out to determine the mgnitude of wall temperature, the speed of the incoming wind through windows, and solar radiation. In addition, simulations are also performed using Computational Fluid Dynemics (CFD) to determine the spread of temperature and wind speed in the room. This study has 8 main simulations based on window openings. This is done to predict the thermal comfort level of the occupants. From the simulation and measurement results, the variation 1 resulted in the lowest thermal comfort with PMV 1,97 and the Predicted Percentage Dissatisfied (PPD) of 75%. While the 4 variations resulted in the highest thermal comfort level with PMV 1.12 and Predicted Percentage Dissatisfied of occupants (PPD) by 32%.

Keywords: *Thermal comfort, PMV, PPD, Natural Ventilation.*

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis kepada Allah SWT, karena rahmat dan hikmat-Nya sehingga penulis diberikan kesehatan, kemudahan, dan kelancaran dalam menyusun laporan tugas akhir ini dengan judul “PREDIKSI KENYAMANAN TERMAL PADA RUANG SEMINAR PASCA SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA ITS” Tidak lupa penulis menyampaikan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua penulis dan keluarga yang telah memberikan dukungan terhadap penyelesaian tugas akhir.
2. Bapak Ir. Sarwono, M.M selaku dosen pembimbing pertama tugas akhir.
3. Bapak Ridho Hantoro, ST.,MT selaku dosen pembimbing kedua tugas akhir ini dan dosen wali, yang telah membimbing serta memberikan motivasi.
4. Bapak Agus Muhammad Hatta, S.T, Msi, Ph.D selaku Ketua Departemen Teknik Fisika ITS
5. Bapak Dr Gunawan Nugroho, S.T, Ph.D selaku kepala laboratorium Rekayasa Energi dan Pengkondisian Lingkungan Teknik Fisika ITS.
6. Segenap Bapak/Ibu dosen pengajar di Departemen Teknik Fisika yang telah banyak memberikan ilmunya sehingga penulis dapat menyelesaikan jenjang kuliah hingga tugas akhir ini.
7. Teman-teman asisten Lab laboratorium Rekayasa Energi dan Pengkondisian Lingkungan serta laboratorium Rekayasa Instrumentasi Teknik Fisika ITS yang memberikan bantuan serta motivasi
8. Cindy, Indra, Doan serta teman-teman TAWAN dan F48
9. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, terimakasih atas bantuannya.

Penulis sadar bahwa penulisan laporan tugas akhir ini tidak sempurna, namun semoga laporan ini dapat memberikan kontribusi yang berarti dan menambah wawasan yang

bermanfaat bagi pembaca, keluarga besar Teknik Fisika khususnya, dan civitas akademik ITS pada umumnya. Semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat sebagai referensi pengerjaan laporan tugas akhir bagi mahasiswa yang lain.

Surabaya, 18 Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
LEMBAR PENGESAHAN	vi
ABSTRAK	xi
ABSTRACT	xiii
KATA PENGANTAR	xiv
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR GRAFIK	xxiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	3
1.4 Batasan Masalah	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Kenyamanan <i>Thermal</i>	5
2.2 Natural Ventilation	8
2.3 ASHRAE 2009	10
2.4 Computational Fluid Dynamics (CFD)	12
BAB III METODOLOGI	15
3.1 Alur Penelitian	15
3.2 Objek Penelitian	17
3.3 Pengukuran Temperatur dan Kecepatan Angin	18
3.4 Pra-Pemrosesan (<i>Pre-Processing</i>) CFD	21
3.5 Penyelesaian (<i>Solving</i>) CFD	22
3.6 Post-Processing	23
BAB IV ANALISA DATA	25
4.1 Verifikasi Hasil Simulasi CFD	25
4.2 Distribusi Temperatur Didalam Ruang	31
4.3 Distribusi aliran Udara Didalam Ruangan	43
4.4 Kenyamanan Termal Pada Manusia	48
BAB V PENUTUP	59
5.1 Kesimpulan	59
5.2 Saran	59
LAMPIRAN	

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	PPD Sebagai Fungsi dari PMV	12
Gambar 3.1	Diagram Penelitian Tugas Akhir.....	16
Gambar 3.2	Dimensi Ruang Baru Pasca Sarjana Teknik Fisika..	17
Gambar 3.3	Dimensi Ruang Baru Pasca Sarjana Teknik Fisika ITS Sekat Tengah Tertutup	17
Gambar 3.6	Poin Pengukuran Temperatur ambien dan Kelembaban Relatif.....	18
Gambar 3.7	Poin Pengukuran Temperatur Dinding dan Kaca Orientasi Timur.	19
Gambar 3.8	Poin Pengukuran Temperatur Dinding dan Kaca Orientasi Barat	19
Gambar 3.9	Poin Pengukuran Temperatur Dinding Selatan dan Utara.....	19
Gambar 3.10	Hasil pemodelan geometri ruangan pasca sarjana .	21
Gambar 3.11	Hasil pemodelan geometri ruangan pasca sarjana .	22
Gambar 3.12	Kontur Temperatur Udara Ruang	24
Gambar 3.13	Streamline Pada Ruang	24
Gambar 4.2	Kontur persebaran temperatur dalam ruangan Variasi 1.....	33
Gambar 4.3	Kontur persebaran temperatur dalam ruangan variasi 2	34
Gambar 4.4	Kontur persebaran temperature dalam ruangan Variasi 3.....	35
Gambar 4.5	Kontur persebaran temperature dalam ruangan Variasi 4.....	37
Gambar 4.6	Kontur persebaran temperature dalam ruangan Variasi 5.....	38
Gambar 4.7	Kontur persebaran temperature dalam ruangan Variasi 6.....	39
Gambar 4.8	Kontur persebaran temperature dalam ruangan Variasi 7	40

Gambar 4.9 Kontur persebaran temperature dalam ruangan Variasi 8.42

Gambar 4.10 Persebaran aliran udara variasi 1 dan 5.....45

Gambar 4.11 Persebaran aliran udara variasi 2 dan 6.....46

Gambar 4.12 Persebaran aliran udara variasi 3 dan 7.....47

Gambar 4.13 Persebaran aliran udara variasi 4 dan 8.....48

Gambar 4.14 Tingkat Kenyamanan Termal Variasi 150

Gambar 4.15 Tingkat Kenyamanan Termal Variasi 251

Gambar 4.16 Tingkat Kenyamanan Termal Variasi 352

Gambar 4.17 Tingkat Kenyamanan Termal Variasi 453

Gambar 4.18 Tingkat Kenyamanan Termal Variasi 554

Gambar 4.19 Tingkat Kenyamanan Termal Variasi 655

Gambar 4.20 Tingkat Kenyamanan Termal Variasi 756

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Insulasi Pakaian (Thomas H.Kuehn, James W. Ramsey, & James L. Threlkeld, 1998)	6
Tabel 2.2 Batas Kenyamanan Termal SNI 03-6572-2001	8
Tabel 2.3 Tujuh Skala Sensai Termal (ASHRAE 55, 2004) ...	10
Tabel 3.2 Variasi Simulasi.....	20
Tabel 3.3 Penentuan Parameter Simulasi Tahap Solver	23
Tabel 4.2 Insulasi Pakaian	49
Tabel 4.3 Aktivitas Manusia Didalam Ruangan	49

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1	Verifikasi Temperatur Hasil Simulasi CFD Terhadap Data Pengukuran Pada Jam 09.00 – 11.00 WIB Bersekat	25
Grafik 4.2	Verifikasi Temperatur Hasil Simulasi CFD Terhadap Data Pengukuran Pada Jam 11.30 – 12.30 WIB Bersekat	26
Grafik 4.3	Verifikasi Temperatur Hasil Simulasi CFD Terhadap Data Pengukuran Pada Jam 13.30 – 14.30 WIB Bersekat	27
Grafik 4.4	Verifikasi Temperatur Hasil Simulasi Terhadap Data Pengukuran Pada Jam 15.30 – 17.00 WIB Bersekat.....	28
Grafik 4.5	Verifikasi Temperatur Hasil Simulasi Terhadap Data Pengukuran Pada Jam 09.00 – 11.00 WIB Tidak Bersekat.....	28
Grafik 4.6	Verifikasi Temperatur Hasil Simulasi CFD Terhadap Data Pengukuran Pada Jam 11.30 – 12.30 WIB Tidak Bersekat.....	29
Grafik 4.7	Verifikasi Temperatur Hasil Simulasi CFD Terhadap Data Pengukuran Pada Jam 13.30 – 14.30 WIB Tidak Bersekat.....	30
Grafik 4.8	Verifikasi Temperatur Hasil Simulasi CFD Terhadap Data Pengukuran Pada Jam 15.30 – 17.00 WIB Tidak Bersekat.....	30
Grafik 4.9	Temperatur udara dalam ruangan dari setiap variasi bukaan jendela	43
Grafik 4.10	Kecepatan angin disekitar manusia.....	44

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangunan gedung baru Pasca Sarjana Teknik Fisika merupakan investasi jangka panjang yang sedapat mungkin memberikan kenyamanan bagi setiap civitas akademik dalam pelaksanaan aktivitasnya. Kenyamanan termal dalam ruangan akan meningkatkan produktivitas kerja. Dimana pada umumnya orang menghabiskan waktunya (lebih dari 90%) di dalam ruangan, sehingga mereka membutuhkan udara yang nyaman dalam ruang tempat mereka beraktivitas (S.C & M.Chang, 2000). Sebuah studi menyebutkan bahwa ada pengaruh dari kualitas termal suatu ruangan kelas dengan prestasi belajar mahasiswa. (Pepler, R.D & Warner, R.E, 1968)

Indonesia sendiri merupakan negara beriklim tropis yang memiliki karakteristik suhu rata-rata 24-32°C dan kelembaban rata-rata relatif tinggi yaitu 60-90%. (BMKG, 2017-2018) Kelembapan dan temperature, aliran udara, radiasi matahari ini merupakan faktor yang mempengaruhi kenyamanan termal sehingga kenyamanan termal ini dibutuhkan agar manusia dapat beraktifitas dengan baik dalam ruangan. Arah bangunan dan ventilasi yang ada juga merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kenyamanan. Peneliti menyatakan bahwa arah bangunan yang menghadap atau membelakangi sinar matahari dan jumlah ventilasi yang terkait dengan pertukaran udara berpengaruh terhadap kenyamanan. (Susanti, L & Nike, A, 2013) Berdasarkan penelitian sebelumnya, keberadaan ventilasi pada bangunan di daerah tropis sangat penting bagi kenyamanan termal dan berperan dalam mendukung peningkatan waktu kerja produktif. Standar ukuran ventilasi yang berkisar antara 10 sampai 20% dapat ditingkatkan sampai mencapai 50% dari luasan lantai jika kebutuhan kecepatan angin dalam ruangan belum memadai. Hal ini dapat dicapai dengan pemilihan jenis bukaan atau jendela yang dapat mendorong terjadinya pergerakan udara yang lebih cepat atau dengan memperbesar kecepatan angin.

Beberapa penelitian tentang kenyamanan termal telah dilakukan oleh para peneliti, seperti peneliti prediksi kenyamanan *thermal* menggunakan simulasi CFD dan berdasarkan data eksperimental dimana prediksi ini dilakukan pada ruangan non HVAC di Italia berdasarkan standar ISO 7730 (Burrati C, Palladino D, & Moretti E, 2017). Penelitian tentang *thermal comfort analysis of a naturally ventilated building* dengan membandingkan kenyamanan termal dari beberapa model dasar ASHRAE 55-2004, *Fanger comfort model*, *Adaptive comfort model* (Kibbaya & Allan Rogers, 2013). Sehingga Standar kenyamanan termal ISO 7730 dan ASHRAE 55 telah banyak digunakan sebagai standar kenyamanan termal diberbagai negara guna memprediksi kenyamanan termal yang dirasakan oleh penghuni dalam ruangan.

Sebagian besar penelitian yang dilakukan dalam bangunan dengan iklim tropis lembab persepsi kenyamanan termal yang dirasakan oleh penghuni menyatakan kurang dapat menerima kondisi udara dalam ruang yang disebabkan oleh faktor - faktor diatas. Berdasarkan PMV (*Predicted Mean Vote*) menunjukkan penghuni merasakan suhu udara netral sedikit hangat, namun penghuni melakukan tindakan adaptif dengan memberikan kontrol berupa pengaturan bukaan sistim ventilasi memberikan tirai pada bukaan - bukaan yang langsung menerima radiasi matahari. Sehingga untuk mengetahui tingkat kenyamanan termal dalam gedung baru Pasca Sarjana Teknik Fisika dilakukan penelitian dengan variasi bukaan ventilasi alami.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka permasalahan yang terdapat pada tugas akhir ini adalah

- a. Bagaimana distribusi temperatur, kecepatan angin pada variasi ventilasi alami?
- b. Bagaimana kenyamanan termal pada suatu ruangan dengan ventilasi alami melalui data pengukuran dan simulasi?

1.3 Tujuan

Berdasarkan permasalahan yang ada didapatkan tujuan dari tugas akhir ini yaitu

- a. Mendapatkan distribusi temperatur, kecepatan angin, pada variasi ventilasi alami.
- b. Mendapatkan kenyamanan termal ruangan dengan ventilasi alami melalui data pengukuran dan simulasi.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam tugas akhir ini antara lain:

- a. Standar kenyamanan termal berdasarkan ASHRAE 55 dan batas kenyamanan Termal SNI 03-6572-2001
- b. Pengambilan data dilakukan di ruang baru pasca sarjana Teknik Fisika ITS. Pengukuran pada tanggal 21 Januari 2018 jam 09.00 WIB – 17.00 WIB.
- c. Kenyamanan termal ruangan dengan ventilasi alami berupa bukaan jendela sesuai dengan keadaan pengukuran tanggal 21 Januari 2018 jam 09.00 WIB – 17.00 WIB.
- d. Keadaan diasumsikan Steadystate
- e. Geometri dimodelkan mendekati bentuk sebenarnya
- f. Tidak ada perubahan material yang digunakan pada perbaikan.
- g. Tekanan udara diperlakukan sama terhadap pengukuran.

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kenyamanan *Thermal*

Berikut ini merupakan definisi dari kenyamanan termal adalah

2.1.1 Definisi Kenyamanan Termal

- Kenyamanan termal sebagai proses *thermophysiological*, menganggap bahwa nyaman dan tidaknya lingkungan thermal akan tergantung pada menyala dan matinya signal syarat reseptor thermal yang terdapat di kulit dan otak.
- Pendekatan *heat balance* (keseimbangan panas), kenyamanan thermal dicapai bila aliran panas keadaan dari badan manusia seimbang dan temperatur kulit serta tingkat berkeringat badan ada dalam rangenyanaman.
- Pendekatan psikologis, kenyamanan thermal adalah kondisi pikiran yang mengekspresikan tingkat kepuasan seseorang terhadap lingkungan thermalnya. (ASHRAE 55, 2004)

2.1.2 Faktor Yang Mempengaruhi Kenyamanan Termal (ASHRAE 55, 2004) (ISO 7730, 2005)

a. Temperatur udara

Temperatur udara merupakan salah satu faktor yang paling dominan dalam menentukan kenyamanan termal. Manusia dikatakan nyaman apabila suhu tubuhnya sekitar 37°C. Temperatur udara antara suatu daerah dengan daerah lainnya sangat berbeda. Hal ini disebabkan adanya beberapa faktor, seperti sudut datang sinar matahari, ketinggian suatu tempat, arah angin, arus laut, awan, dan lamanya penyinaran.

b. Temperatur radiant

Temperatur radiant adalah panas yang berasal dari radiasi objek yang mengeluarkan panas, salah satunya yaitu radiasi matahari.

c. Kelembaban udara

Kelembaban udara merupakan kandungan uap air yang ada di dalam udara, sedangkan kelembaban relatif adalah rasio antara jumlah uap air di udara dengan jumlah maksimum uap

air dapat ditampung di udara pada temperatur tertentu. Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi kelembaban udara, yakni radiasi matahari, tekanan udara, ketinggian tempat, angin, kerapatan udara, serta suhu.

d. Kecepatan angin

Kecepatan angin adalah kecepatan aliran udara yang bergerak secara mendatar atau horizontal pada ketinggian dua meter di atas tanah. Kecepatan angin dipengaruhi oleh karakteristik permukaan yang dilaluinya. Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi kecepatan angin (Resmi, 2010), antara lain berupa gradien barometris, lokasi, tinggi lokasi, dan waktu.

e. Insulasi Pakaian

Jenis dan bahan pakaian yang dikenakan juga dapat mempengaruhi kenyamanan termal. Salah satu cara manusia untuk dapat beradaptasi dengan keadaan termal di lingkungan sekitarnya adalah dengan cara berpakaian. Misalnya, mengenakan pakaian tipis di musim panas dan pakaian tebal di musim dingin. Pakaian juga dapat mengurangi pelepasan panas tubuh.

Tabel 2.1 Insulasi Pakaian (*Thomas H. Kuehn, James W. Ramsey, & James L. Threlkeld, 1998*)

insulasi	Icl (Clo)	Ir (Clo)	Acl/Ask
walking shorts, short- sleeve shirt	0,36	1,02	1,1
trouser, short-sleeve shirt	0,57	1,2	1,15
trousers, long-sleeve shirt	0,61	1,21	1,2
same as above plus suit jacket	0,96	1,54	1,23
same as above plush vest and tshirt	1,14	1,69	1,32
trouser, long sleeve shirt, long sleeve sweater, t-shirt	1,01	1,56	1,28
same as above plus suit jacket and long underwear bottoms	1,3	1,83	1,33
sweat pants, sweat shirt	0,74	1,35	1,19

Tabel 2.1 Lanjutan

Insulasi	Icl (Clo)	Ir (Clo)	Acl/Ask
long sleeve pajama top , long pajama trousers, short 3/4 sleeve robe, slippers, no rocks	0,96	1,5	1,32
knee-length skirt, short sleeve shirt, pantyhose,sandals	0,54	1,1	1,26
knee-length skirt, long sleeve shirt,full slip pantyhose	0,67	1,22	1,29
knee-length skirt,long sleeve shirt,full slip,panty hose,long sleeve sweater	1,1	1,59	1,46
same as above replacesweater with suit jacet	1,04	1,6	1,3
ankle - length skirt, long sleeve shirt suit jacket pantyhose	1,1	1,59	1,46
long sleeve coveralls tshirt	0,73	1,3	1,23
overall long sleeve shirt, tshirt	0,89	1,46	1,27
insulated coveralls , long sleeve, thermal underwear, long underwear bottoms	1,37	1,94	1,26

f. Aktivitas

Aktivitas yang dilakukan manusia akan meningkatkan metabolisme tubuhnya. Semakin tinggi intensitas aktivitas yang dilakukan, maka semakin besar pula peningkatan metabolisme yang terjadi di dalam tubuh, sehingga makin besar energi dan panas yang dikeluarkan.

Berdasarkan standart SNI 03-6572-2001 bahwa di Indonesia yang merupakan negara tropis mempunyai kelembaban udara relatif yang dianjurkan antara 40 % - 50 % tetapi jika jumlah orang lebih banyak yang berada pada suatu ruangan maka kelembaban udara relatif dianjurkan antara 55% - 70% dengan suhu nyaman yaitu $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ dan kecepatan udara yang dapat

dipertahankan dalam kondisi nyaman adalah kecepatan angin yang jatuh dikepala tidak boleh lebih besar dari 0,25 m/detik dan harus lebih kecil dari 0,15 m/detik (SNI, 2011). Berdasarkan standar SNI 03-6572-2001 juga, Kenyamanan termal dapat dibagi menjadi bagian berdasarkan tingkat kenyamanan termal yang dapat dilihat pada tabel 9.1 dibawah ini.

Tabel 2.2 Batas Kenyamanan Termal SNI 03-6572-2001

	Temperatur Efektif (TE)	Kelembaban / RH (%)
Sejuk Nyaman	20,5°C TE – 22,8°C TE	50%
Ambang Atas	24°C TE	80%
Nyaman Optimal	22,8°C TE – 25,8°C TE	70%
Ambang Atas	28°C TE	
Hangat Nyaman	25,8°C TE – 27,1°C TE	60%
Ambang Atas	31°C TE	

2.2 Natural Ventilation

ventilasi udara adalah bagian dari rumah yang berfungsi sebagai saluran udara dimana udara dapat mengalir dengan baik dari dan ke dalam rumah. Dengan demikian, udara yang ada di dalam rumah akan tergantikan secara terus menerus oleh udara dari luar melalui ventilasi tersebut. Ventilasi alami terjadi karena adanya perbedaan tekanan di luar suatu bangunan gedung yang disebabkan oleh angin dan karena adanya perbedaan temperatur, sehingga terdapat gas-gas panas yang naik di dalam saluran ventilasi.

2.2.1 Perpindahan Panas

Bangunan akan memperoleh dan kehilangan panas dan massa dari dan ke lingkungan sekitarnya melalui proses perpindahan panas dan massa konduksi, konveksi dan radiasi. Perpindahan panas konduksi terjadi melalui dinding dan atap

bangunan dengan arah masuk dan keluar bangunan termasuk konduksi panas dari dan ke dalam tanah. Perpindahan panas konduksi sangat dipengaruhi oleh konduktivitas bahan dan suhu lingkungan. Semakin besar nilai konduktivitasnya, bahan tersebut semakin cepat merambatkan panas. (Esmay & Dixon, 1986) Perpindahan panas konduksi diatur melalui hukum Fourier :

$$\dot{Q} = -k A \frac{dT}{dx} \quad (2.1)$$

Dimana, \dot{Q} adalah laju perpindahan panas (W), k = konduktivitas panas (W/m.k) dan A adalah luas penampang aliran panas (m^2)

Perpindahan panas dan massa secara konveksi terjadi karena aliran udara yang masuk dan keluar melalui bukaan ventilasi. Perpindahan panas secara konveksi pada bangunan dilingkungan tropis basah terjadi pada atap bangunan, manusia, lantai serta bangunan penopangnya seperti dinding, kerangka dan peralatan lainnya. Keseimbangan panas diudara dalam ruangan lebih mudah dihitung karena proses pindah panas terjadi secara konveksi dari penutup ruangan (selubung ruangan) dan dinding ke udara dalam ruangan terjadi secara alami dan melalui bukaan ventilasi baik masuk maupun keluar. Perpindahan panas konveksi dipengaruhi oleh koefisien konveksi udara, kecepatan angin, maka akan semakin cepat keseimbangan panas dalam ruangan konveksi. (Esmay & Dixon, 1986) Perpindahan panas secara konveksi berdasarkan hukum newton :

$$\dot{Q} = h A (T_w - T_\infty) \quad (2.2)$$

Dimana h adalah koefisien perpindahan panas (w/m^2k), T_w = temperatur dinding (K) dan T_∞ = temperatur udara (K).

Perpindahan panas radiasi gelombang pendek dari radiasi matahari dan refleksinya serta difusivitasnya selalu memiliki nilai positif. Perpindahan panas radiasi gelombang panjang adalah radiasi yang dipancarkan oleh permukaan bangunan dan diterima dari lingkungan di sekitar bangunan. Panas lainnya yang ditimbulkan oleh penghuni atau peralatan yang ada didalam ruangan juga harus dapat diperhitungkan. Perpindahan panas radiasi gelombang panjang terjadi antara manusia dengan lingkungan disekitarnya melalui kulit manusia. (Esmay & Dixon, 1986)

Perpindahan panas ini terjadi karena manusia mengeluarkan panas tubuhnya melalui permukaan kulit dan saluran pernapasan. Selain itu perpindahan panas secara radiasi dipengaruhi oleh besarnya radiasi matahari atau bahan, kecepatan angin dan suhu lingkungan. Rumus radiasi yang dipancarkan oleh tubuh :

$$\dot{Q} = \varepsilon \sigma A T^4 \quad (2.3)$$

Dimana, ε adalah emisivitas tubuh, σ adalah konstanta stefan-bltzmann $5.67 \times 10^{-8} \text{w}/(\text{m}^2\text{K})$, T = temperatur absolut (K). (Thomas H.Kuehn, James W. Ramsey, & James L. Threlkeld, 1998)

2.3 ASHRAE 2009

Berdasarkan ASHRAE 2009 pengukuran tingkat kenyamanan termal pada manusia menggunakan dua metode statistik yaitu indeks PMV (*Predicted Mean Vote*) dan PPD (*Predicted Percentage Dissatisfied*).

2.3.1 PMV (Predicted Mean Vote)

PMV merupakan indeks yang memprediksi nilai rata-rata pada sekumpulan kelompok manusia terhadap 7 skala sensasi termal, berdasarkan keseimbangan panas dari tubuh manusia. Keseimbangan termal diperoleh saat produksi panas internal dari dalam tubuh sama dengan hilangnya panas ke lingkungan. Indeks PMV juga dapat diukur secara langsung melalui sensor yang terintegrasi.

Tabel 2.3 Tujuh Skala Sensai Termal (*ASHRAE 55, 2004*)

+3	Hot
+2	Warm
+1	Slightly Warm
0	Neutral
-1	Slightly Cool
-2	Cool
-3	Cold

Setelah faktor lingkungan dan faktor subyektif diukur, maka untuk sensasi termal untuk tubuh secara keseluruhan dapat diprediksi dengan cara menghitung indeks PMV (Susanti dan Aulia, 2013). Maka nilai PMV dapat didefinisikan melalui persamaan berikut :

$$PMV = (0,303^{-0,036M} + 0,028)[(M - W) - 3,05 \times 10^{-3} [5733 - 6,99 (M - W) - p_2] - 0,42[(M - W) - 58,15] - 1,7 \times 10^{-5} M(5867 - p_2) - 0,0014M(34 - t_a) - 3,96 \times 10^{-8} f_d[(t_d + 273)^4 - (t_r + 273)^4] - f_d h_c(t_d - t_a)] \quad (2.4)$$

Dimana

$$t_d = 35,7 - 0,028(M - W) - I_d(3,98 \times 10^{-8} f_d[(t_d + 273)^4 - (t_r + 273)^4] + f_d h_c(t_d - t_a)) \quad (2.5)$$

$$h_c = 2,38(t_{cl} - t_a)^{0,25} \text{ untuk } 2,38(t_{cl} - t_a)^{0,25} > 12,1 \sqrt{var} \\ 12,1 \sqrt{var} \text{ untuk } 2,38(t_{cl} - t_a)^{0,25} < 12,1 \sqrt{var} \quad (2.6)$$

$$F_d = 1,00 + 1,290 I_{cl} \text{ untuk } I_{cl} \leq 0,078 m^2 \frac{C}{W} \\ 1,05 + 0,645 I_{cl} \text{ untuk } I_{cl} > 0,078 m^2 \frac{C}{W} \quad (2.7)$$

Keterangan :

PMV = *predicted mean vote*

M = *metabolic rate, W/m²*

W = *external work (zero for most indoor activities), W/m²*

I_{cl} = *thermal resistance of clothing, (m² °C)/W*

f_{cl} = *ratio of the clothed surface area to the nude surface area*

T_r = *mean radiant temperature, °C*

var = *air velocity relative to the human body, m/sec*

p_a = *partial water vapor pressure, Pa*

H_c = *convective heat transfer coefficient, W/(m² °C)*

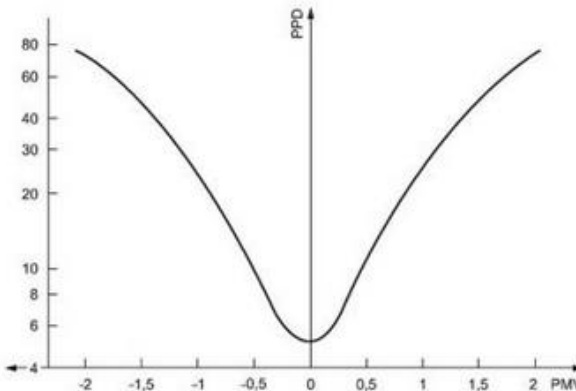
t_{cl} = *surface temperature of the clothing, °C*

2.2.1 Predicted Percentage Dissatisfied (PPD)

Predicted Percentage Dissatisfied (PPD) merupakan sebuah indeks yang menghasilkan presentasi prediksi orang yang merasa tidak nyaman dengan kondisi termal secara kuantitatif. Sesuai

dengan standar ISO, orang yang tidak nyaman dengan kondisi termal adalah orang yang merasakan kondisi *hot*, *warm*, *cool*, atau *cold* pada 7 skala sensasi termal (tabel 1). Saat nilai PMV telah diketahui, maka indeks PPD dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$PPD = 100 - 95 e^{(-0,03353 PMV^4 - 0,2179 PMV^2)} \quad (2.8)$$



Gambar 2.1 PPD Sebagai Fungsi dari PMV (ASHRAE 55, 2004)

2.4 Computational Fluid Dynamics (CFD)

Computational Fluid Dynamics (CFD) merupakan ilmu yang digunakan untuk memprediksi aliran fluida, transfer massa dan panas, dan fenomena lain yang menggunakan persamaan matematika berdasarkan finite element dimana proses perhitungan dan analisa dilakukan dengan menggunakan komputer (Versteeg dan Malalasekera, 1995). Pada CFD digunakan persamaan kekekalan massa, kekekalan energi, dan kekekalan momentum untuk menghasilkan data prediksi yang dibutuhkan seperti tekanan, kecepatan, Temperatur, dan vektor. Geometri yang disimulasikan akan dibagi menjadi bagian – bagian kecil yang disebut dengan kontrol volume. Di setiap kontrol volume ini akan dilakukan perhitungan matematis. Semakin banyak kontrol volume yang dibuat maka akan semakin banyak juga perhitungan yang dilakukan dan menyebabkan kerja komputer yang semakin berat.

Dalam melakukan simulasi menggunakan CFD, terdapat tiga tahapan yang harus dilaksanakan yaitu:

a. Pre-Processing

Pada tahap ini dilakukan pembentukan geometri yang akan di simulasikan dan pendefinisian boundary condition. Pembuatan geometri dapat menggunakan software GAMBIT, Solidwork, dan lain sebagainya yang merupakan software sejenis. Tahap setelah geometri adalah tahap dimana sebuah benda atau ruangan yang akan dianalisa dibagi-bagi dengan jumlah grid tertentu atau sering juga disebut dengan meshing. Meshing adalah proses pembagian geometri menjadi kontrol volume kecil yang menjadi tempat perhitungan matematis. Semakin banyak kontrol volume yang dibuat maka akan semakin halus pula hasil yang didapatkan. Secara umum, tahap ini terdiri dari:

1. Pemodelan ruangan
2. Pembuatan domain fluida
3. Pemihan jumlah grid yang optimum

b. Processing

Pada tahap ini akan dihitung data – data yang sudah di masukan sebelumnya secara iterasi. Iterasi dilakukan hingga perhitungan konvergen dan memiliki error yang kecil. Pada tahap ini dilakukan perhitungan secara numerik untuk menyelesaikan masalah dengan CFD. Secara umum tahap ini terdiri dari:

1. Penentuan kondisi batas
2. Pemilihan jenis fluida
3. Penentuan kecepatan model
4. Pemilihan jumlah iterasi yang optimum
5. Penentuan batas konvergensi yang optimum

Post-Processing

Tahap terakhir ini adalah tahap dimana data hasil perhitungan dapat dilihat dalam beberapa bentuk seperti grafik, gambar, dan animasi dengan pola warna tertentu.

c. Validasi/Verifikasi Hasil Simulasi

Validasi adalah representasi akurat dari dunia nyata dari sudut pandang penggunaan model (AIAA G-077-1998). Proses verifikasi perlu dilakukan untuk pengujian model ducting kereta melalui komputer. Verifikasi dilakukan untuk menunjukkan tingkat kebenaran dari simulasi yang dilakukan. Untuk menentukan tingkat kevalidan, dapat dilakukan dengan beberapa metode yaitu memastikan semua boundary condition dan inisialisasi telah sesuai dengan teori dan kasus aktual serta dengan cara membandingkan dengan sebuah acuan/standart yang telah ada dengan referensi yang jelas.

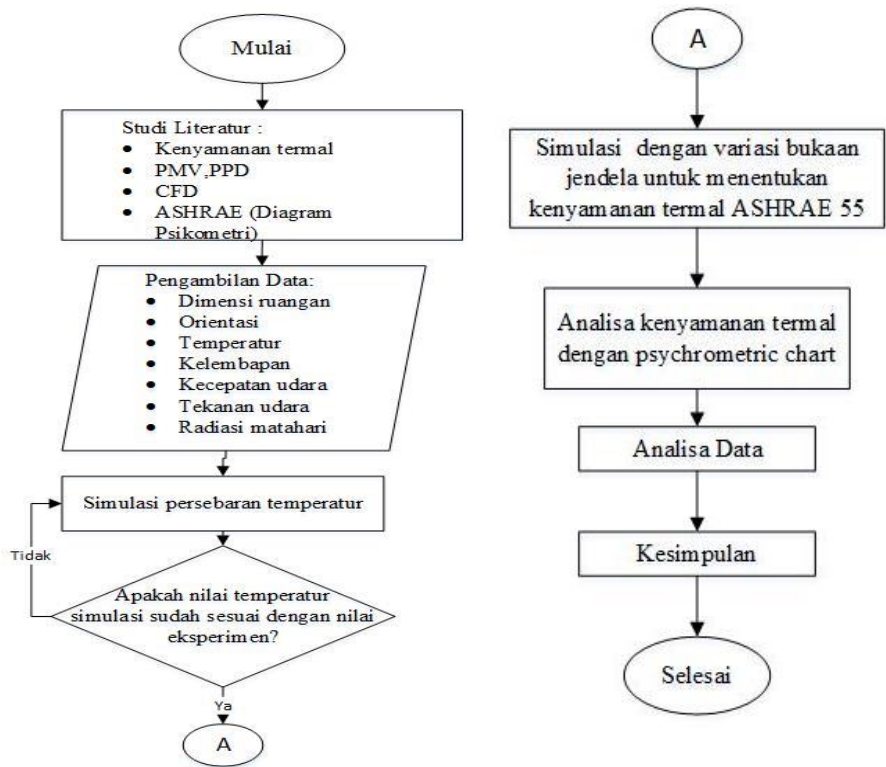
Keakurasian hasil analisis CFD ditentukan oleh 5 faktor yaitu (NASA , 2008) :

1. Konvergensi, yaitu analisis dimana tingkat kesalahan yang dirancang dapat dipenuhi oleh model yang dikembangkan. Nilai konvergensi / variable value dibawah 10⁻⁴.
2. Studi grid independence, yaitu pengetahuan tentang efisiensi pemakaian grid.
3. Verifikasi, yaitu membandingkan hasil CFD dengan data lain yang ada sehingga secara realistis kebenaran dapat diterima.
4. Examine Consistency, yaitu pemeriksaan konsistensi pada fluida CFD. Misalnya, aliran dalam saluran harus menjaga konservasi massa melalui saluran. Total pressure recovery lebih lanjut pada inlet harus tetap konstan atau menurun melalui saluran.
5. Periksa Ketidakpastian Model, model fisik dalam kode CFD mengandung ketidakpastian karena kurang lengkap pemahaman atau pengetahuan tentang proses fisik. Salah satu model dengan paling banyak ketidakpastian adalah model turbulensi. Ketidakpastian dapat diperiksa dengan melakukan berbagai simulasi dengan berbagai model turbulensi yang berbeda dan memeriksa pengaruhnya pada hasil simulasi

BAB III METODOLOGI

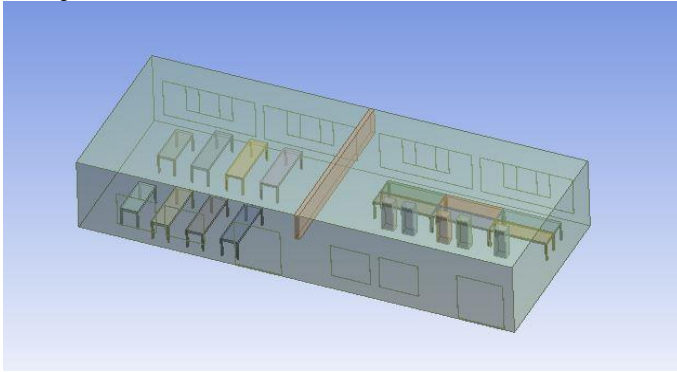
3.1 Alur Penelitian

Tugas akhir ini berupa penelitian kenyamanan termal pada ruang baru Pasca Sarjana Teknik Fisika ITS. Dimulai dari pengukuran dimensi ruangan, pengambilan data temperature, kelembaban relative dan kecepatan angin yang masuk melalui jendela. Hasil pengukuran ini digunakan sebagai data verifikasi hasil simulasi CFD. Apabila nilai kesalahan (*error*) hasil simulasi terhadap pengukuran kurang dari 10 % maka simulasi CFD terverifikasi merepresentasikan keadaan riil. Simulasi dilakukan sesuai dengan kondisi aktual yang terpasang di ruangan. Optimasi ruangan dilakukan dengan bukaan jendela sebagai ventilasi alami untuk memenuhi tingkat kenyamanan termal penghuni. Optimasi ruangan dilakukan sebagai rekomendasi kepada Jurusan Teknik Fisika ITS untuk tingkat kenyamanan termal dengan ventilasi alami. Simulasi CFD dibandingkan kondisi kontur temperatur dan kecepatan angin dari ruangan yang aktual dan desain. Alur penelitian tugas akhir yang telah dilakukan dapat dilihat pada gambar 3.1 berikut :

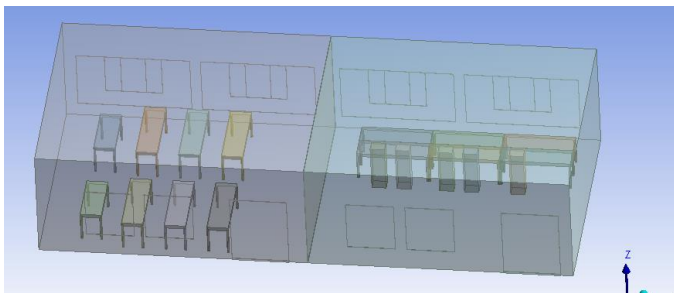


Gambar 3.1 Diagram Penelitian Tugas Akhir

3.2 Objek Penelitian



Gambar 3.2 Dimensi Ruang Baru Pasca Sarjana Teknik Fisika ITS Sekat Tengah Terbuka



Gambar 3.3 Dimensi Ruang Baru Pasca Sarjana Teknik Fisika ITS Sekat Tengah Tertutup

Ruang baru Pasca Sarjana Teknik Fisika adalah ruang belajar mahasiswa pasca sarjana. Ukuran dimensi bangunan sebesar 15,1 m x 6,1 m x 3.23 m yang berada dilantai dua gedung baru pasca sarjana teknik fisika dan didesain dengan memiliki 8 jendela yang berorientasi timur dan barat. Dengan memanfaatkan bukaan jendela sebagai ventilasi alami diharapkan mendapatkan

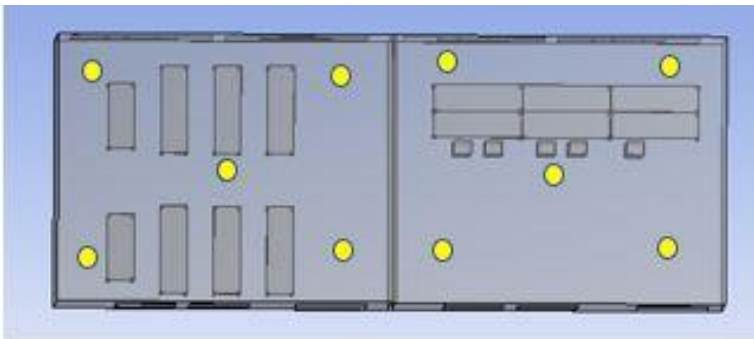
tingkat kenyamanan termal penghuni sesuai dengan standart ASHRAE.

Pada gambar 3.2 dan gambar 3.3 diperlihatkan bahwa ruang pasca sarjana terbagi menjadi dua bagian yang mana pintu bagian tengah dapat dibuka dan ditutup. Pintu tengah berupa kayu dengan tebal 10 cm.

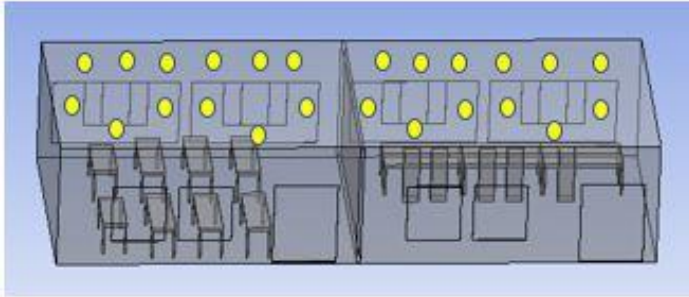
3.3 Pengukuran Temperatur dan Kecepatan Angin

Dalam penelitian ini dilakukan pengukuran temperatur, kelembaban relative dan kecepatan angin yang masuk melalui jendela. Pengukuran dilakukan sebagai data pemverifikasi hasil simulasi yang dilakukan. Hasil simulasi dibandingkan dengan hasil pengukuran untuk ditentukan apakah kesalahan hasil simulasi terhadap pengukuran masih dalam rentang toleransi . Nilai toleransi kesalahan yang digunakan pada penelitian ini adalah 10 %.

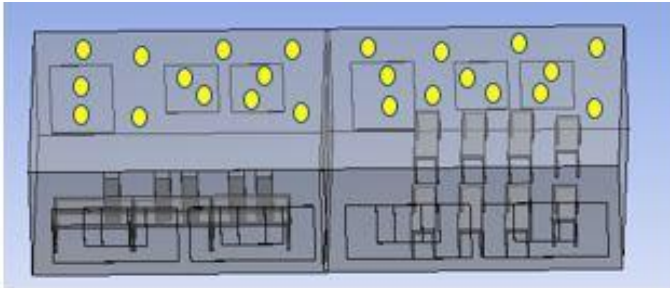
Pengukuran parameter fisis dalam ruangan ini menggunakan *anemometer* dan *environment meter* . Berikut ini merupakan titik – titik pengukuran yang dilakukan :



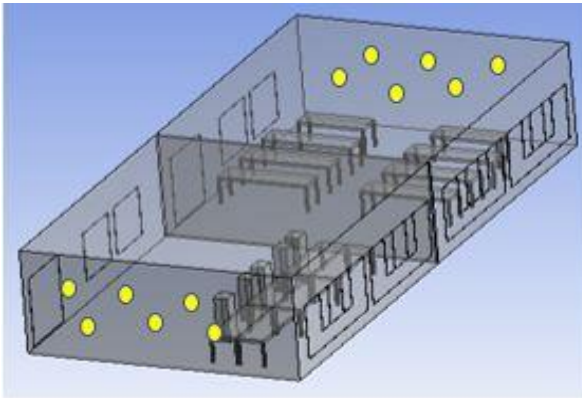
Gambar 3.4 Poin Pengukuran Temperatur ambien dan Kelembaban Relatif.



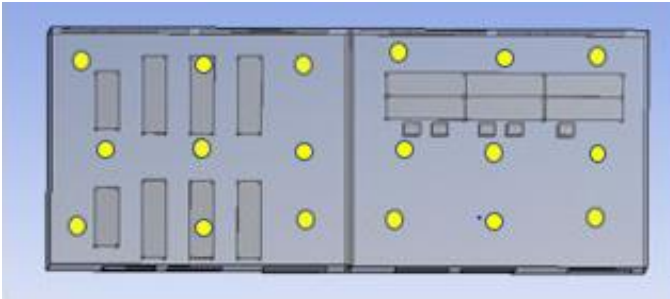
Gambar 3.5 Poin Pengukuran Temperatur Dinding dan Kaca Orientasi Timur.



Gambar 3.6 Poin Pengukuran Temperatur Dinding dan Kaca Orientasi Barat



Gambar 3.7 Poin Pengukuran Temperatur Dinding Selatan dan Utara.



Gambar 3.8 Poin Pengukuran Temperatur Dinding Orientasi Atap

Pengukuran temperatur dilakukan sebagaimana gambar diatas. Sedangkan kecepatan angin yang masuk melewati jendela diukur 30 cm didepan jendela. Masing – masing titik diambil data pengukuran sebanyak 6 kali dan diambil nilai rata – rata temperatur pada masing – masing titik. Pengukuran ini dilakukan pada setiap variasi bukaan jendela. Dengan variasi bukaan jendela sebagai

berikut :

Tabel 3.1 Variasi Simulasi

Jenis Bangunan	Variasi bukaan jendela	Keterangan
Bangunan Bersekat	Jendela dan pintu ditutup semua	Variasi 1
	Jendela barat dibuka dan jendela timur ditutup	Variasi 2
	Jendela barat ditutup dan jendela timur dibuka	Variasi 3
	Semua Jendela dibuka	Variasi 4
Bangunan Tidak Bersekat	Jendela dan pintu ditutup semua	Variasi 5
	Jendela barat dibuka dan jendela timur ditutup	Variasi 6
	Jendela barat ditutup dan jendela timur dibuka	Variasi 7
	Semua Jendela dibuka	Variasi 8

Diharapkan dengan variasi ventilasi alami dengan bukaan jendela tersebut didapatkan tingkat kenyamanan termal penghuni sesuai dengan yang diinginkan.

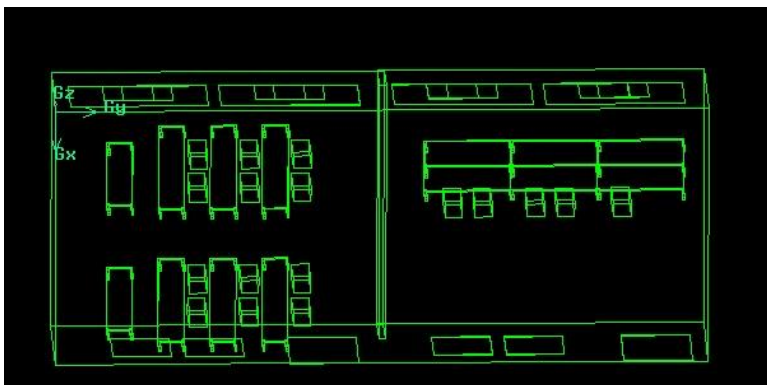
Detil data pengukuran pada masing – masing titik dapat dilihat pada Lampiran A. Hasil verifikasi akan ditunjukkan pada bab hasil dan pembahasan.

3.4 Pra-Pemrosesan (*Pre-Processing*) CFD

Setelah pengukuran dilakukan, selanjutnya dilakukan simulasi ruangan dengan variasi ventilasi alami dengan bukaan jendela. Tahapan pra-pemrosesan pada simulasi CFD adalah menggambar geometri, melakukan mesh, dan mendefinisikan kondisi batas. Pada tahap ini digunakan perangkat lunak Gambit 2.2.30 . Berikut ini dijelaskan penggambaran geometri , metode deskritisasi (mesh) dan pendefinisian kondisi batas pada masing-masing model yang akan diteliti.

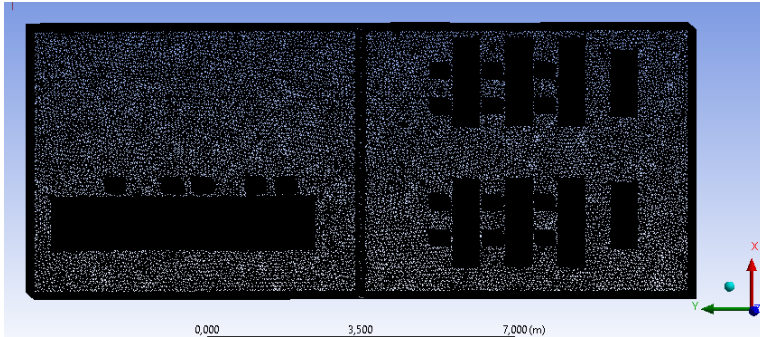
Geometri Ruang

Ruangan dimodelkan secara tiga dimensi pada perangkat lunak gambit dengan panjang kurang lebih 15,01 m, lebar 6,1 m dan tinggi 3,23 m. Didalam ruangan tersebut terdapat 14 meja yang ditata sesuai dengan gambar 3.9 . Gambar geometri ruangan dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 3.9 Hasil pemodelan geometri ruangan pasca sarjana

Orientasi pada ruangan tersebut adalah (y) selatan dan (x) barat. Setelah mendesain ruangan dengan gambit kemudian melakukan mesh dengan tipe tetrahedral seperti tampak pada gambar 3.11 berikut :



Gambar 3.10 Hasil pemodelan geometri ruangan pasca sarjana

Hasil *mesh* volume dengan ukuran 0,088 m menghasilkan elemen volume sebanyak 4.495.649 elemen, Pemisahan nilai *mesh* dilakukan dengan *sizing mesh* pada outlet dan manusia karena dimensi outlet dan manusia sangatlah kecil sehingga dibutuhkan *meshing* yang lebih rapat sebesar 0,03m.

3.5 Penyelesaian (*Solving*) CFD

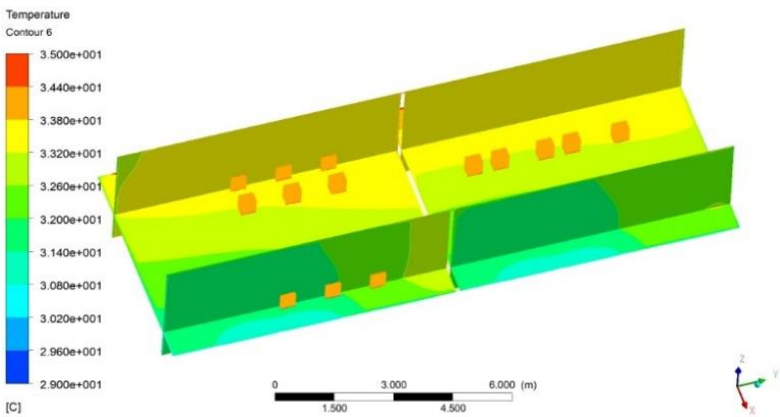
Tahapan ini berupa penentuan skala model, dan perhitungan iterasi dengan parameter pada tabel 3.3 yang telah ditentukan sebelumnya. Persamaan yang digunakan dalam penyelesaian ini adalah persamaan energi, model turbulen k-epsilon *Standar* dan radiasi dengan menggunakan *tools* solar calculation sehingga nilai radiasi bisa didapatkan sesuai posisi geografis , jam dan tanggal yang diinginkan.

Tabel 3.2 Penentuan Parameter Simulasi Tahap Solver

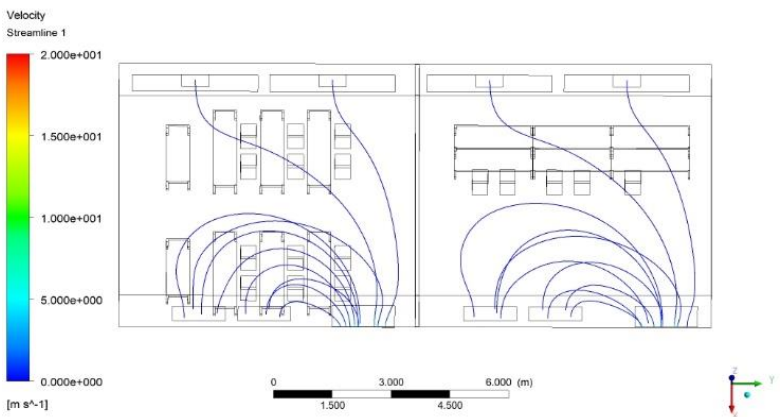
No	Parameter	Jenis
1.	<i>Model</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Energy Equation</i> • <i>K-epsilon Standart</i> • <i>Pressure Based Steady</i> • <i>Radiation Solar Load</i>
2.	<i>Operating Conditions</i>	<ul style="list-style-type: none"> • $P = 101325 \text{ Pa}$ • $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ • $\rho = 1,2257 \text{ kg/m}^3$
3.	<i>Boundary condition</i>	<i>Velocity Inlet, wall, outflow</i>
4.	Model Geometri	3 Dimensi
5.	Keadaan	<i>Steady</i>
6.	<i>Material Properties</i>	<i>Fluid : air</i> <i>Solid : wall, human, wood, glass.</i>
7.	<i>Solution Methods</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Scheme : simple</i> • <i>Gradient : Least Squares Cell based</i> • <i>Pressure : Second Order</i> • <i>Momentum : Second Order Upwind</i> • <i>Turbulent Kinetic Energy : First Order Upwind</i> • <i>Turbulent Dissipation Rate : First Order Upwind</i> • <i>Energy : Second Order Upwind</i>
8.	<i>Convergence</i>	10^{-4}

3.6 Post-Processing

Tahapan ini adalah hasil dari perhitungan iterasi simulasi CFD yang dapat ditampilkan dengan kontur temperature dan kecepatan angin serta pergerakan aliran udara (*Streamline*).



Gambar 3.11 Kontur Temperatur Udara Ruang



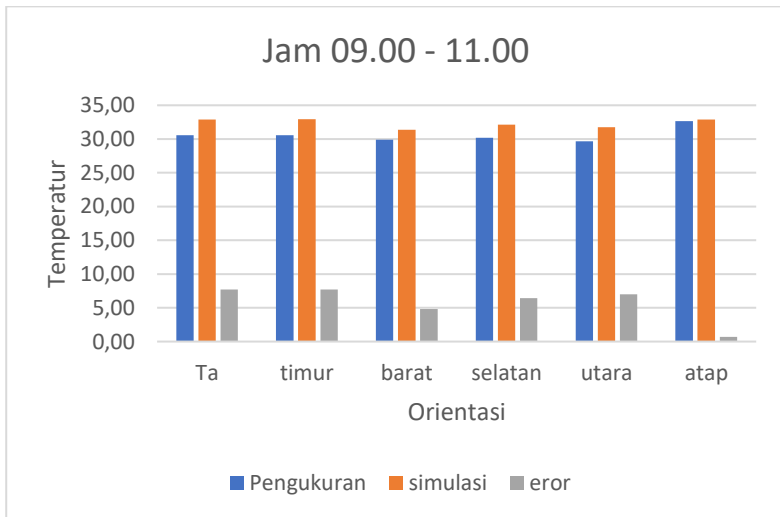
Gambar 3.12 Streamline Pada Ruang

BAB IV ANALISA DATA

4.1 Verifikasi Hasil Simulasi CFD

Berdasarkan kondisi batas yang sudah disebutkan pada bab 3. Verifikasi hasil simulasi CFD ruang Pasca Sarjana Teknik Fisika berdasarkan temperature udara didalam ruangan pada 6 titik pengukuran. Hasil verifikasi simulasi CFD ditunjukkan pada gambar berikut :

a. Ruang bersekat

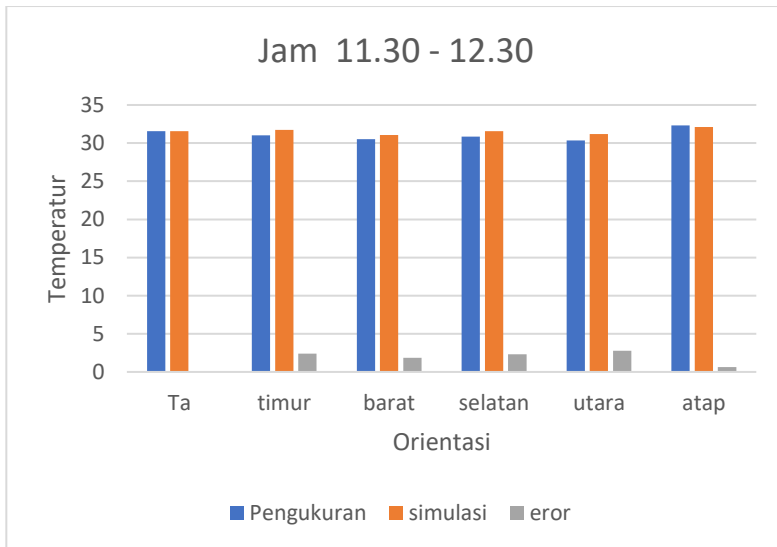


Grafik 4.1 Verifikasi Temperatur Hasil Simulasi CFD Terhadap Data Pengukuran Pada Jam 09.00 – 11.00 WIB Bersekat

Nilai error diatas dihitung dengan rumus :

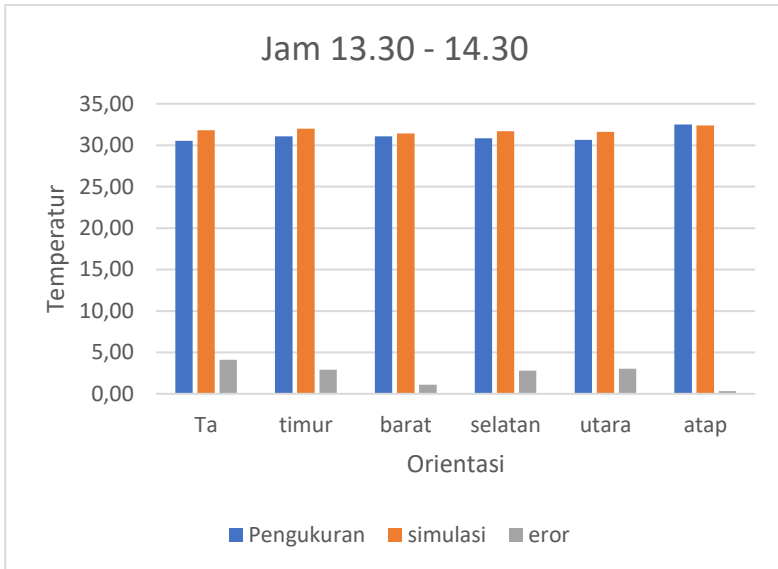
$$Error = \frac{Data\ Simulasi - Data\ pengukuran}{Data\ Pengukuran} \times 100\%$$

Pada grafik 4.1 menunjukkan hasil verifikasi temperatur simulasi dan pengukuran pada jam 09.00 – 11.00 WIB. Kesalahan hasil simulasi terkecil adalah 0,71 % atap orientasi atap dan kesalahan simulasi terbesar adalah 7,7 % pada temperatur dalam ruangan (Ta). Sehingga hasil simulasi jam 09.00 – 11.00 telah terverifikasi dengan data pengukuran sesuai eror yang diizinkan sebesar kurang dari 10 % .



Grafik 4.2 Verifikasi Temperatur Hasil Simulasi CFD Terhadap Data Pengukuran Pada Jam 11.30 – 12.30 WIB Bersekat

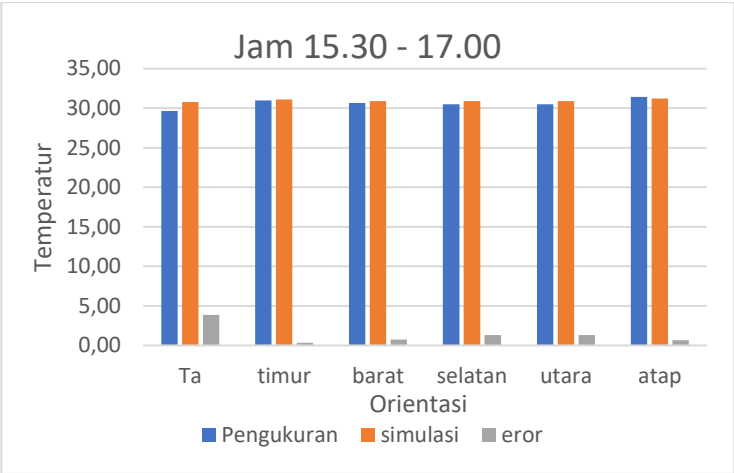
Pada grafik 4.2 menunjukkan hasil verifikasi temperatur simulasi dan pengukuran pada jam 11.30 – 12.30 WIB. Kesalahan hasil simulasi terkecil adalah 0,15 % pada temperatur dalam ruangan (Ta) dan kesalahan simulasi terbesar adalah 2,79 % pada orientasi utara. Sehingga hasil simulasi jam 11.30 – 12.30 telah terverifikasi dengan data pengukuran sesuai eror yang diizinkan sebesar kurang dari 10 % . Sedangkan untuk jam 13.30 – 14.30 WIB ditunjukkan pada grafik dibawah ini :



Grafik 4.3 Verifikasi Temperatur Hasil Simulasi CFD Terhadap Data Pengukuran Pada Jam 13.30 – 14.30 WIB Bersekat

Grafik diatas menunjukkan hasil verifikasi temperatur simulasi dan pengukuran pada jam 13.30 – 14.30 WIB. Kesalahan hasil simulasi terkecil adalah 0,34 % pada orientasi atap dan kesalahan simulasi terbesar adalah 4,09 % pada temperatur dalam ruangan (Ta). Sehingga hasil simulasi jam 13.30 – 14.30 telah terverifikasi dengan data pengukuran sesuai eror yang diizinkan sebesar kurang dari 10 % .

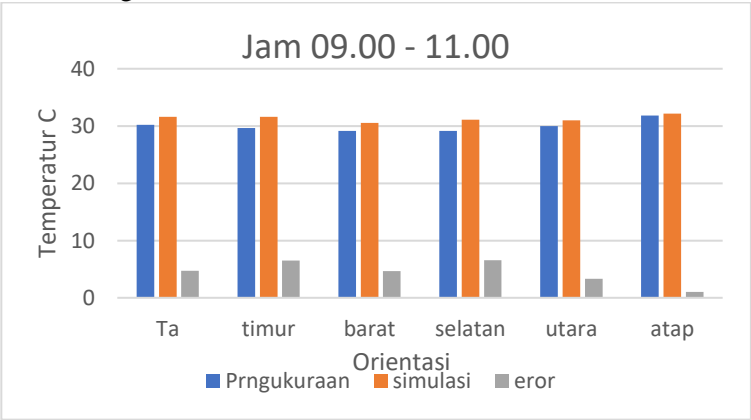
Verifikasi temperatur simulasi dan pengukuran pada jam 15.30 – 17.30 WIB ditunjukkan pada grafik 4.4 dengan kesalahan hasil simulasi terkecil adalah 0,3 % pada orientasi timur dan kesalahan simulasi terbesar adalah 3,87 % pada temperatur dalam ruangan (Ta).



Grafik 4.4 Verifikasi Temperatur Hasil Simulasi Terhadap Data Pengukuran Pada Jam 15.30 – 17.00 WIB Bersekat.

Sehingga kesalahan hasil pengukuran dan simulasi jam 09.00 – 17.00 pada saat keadaan ruangan bersekat terverifikasi mendekati keadan aktual sesuai error yang diijinkan.

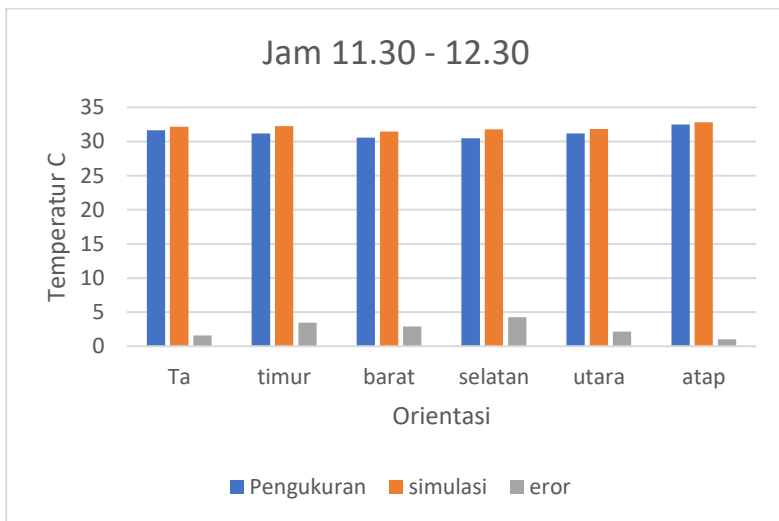
b. Ruangn Tidak Bersekat



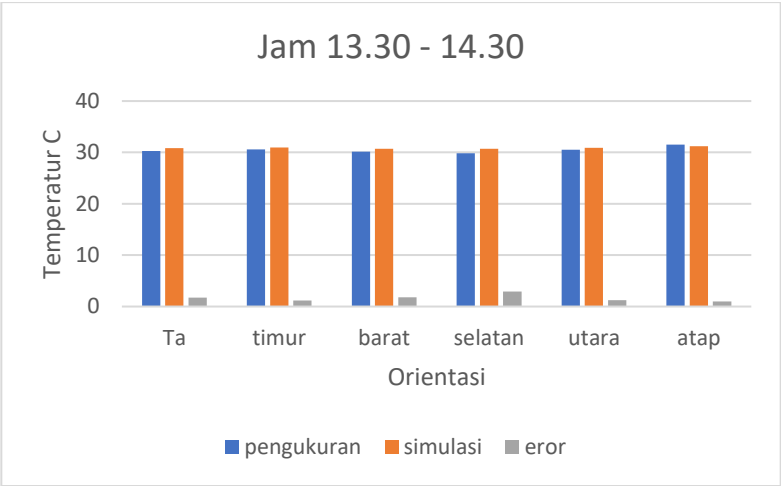
Grafik 4.5 Verifikasi Temperatur Hasil Simulasi Terhadap Data Pengukuran Pada Jam 09.00 – 11.00 WIB Tidak Bersekat.

Grafik diatas menunjukkan hasil verifikasi temperatur simulasi dan pengukuran pada jam 09.00 – 11.00 WIB pada ruangan bersekat. Kesalahan hasil simulasi terkecil adalah 1,01 % pada orientasi atap dan kesalahan simulasi terbesar adalah 6,56 % pada orientasi selatan. Sehingga hasil simulasi jam 09.00 – 11.00 telah terverifikasi dengan data pengukuran sesuai eror yang diizinkan sebesar kurang dari 10 % .

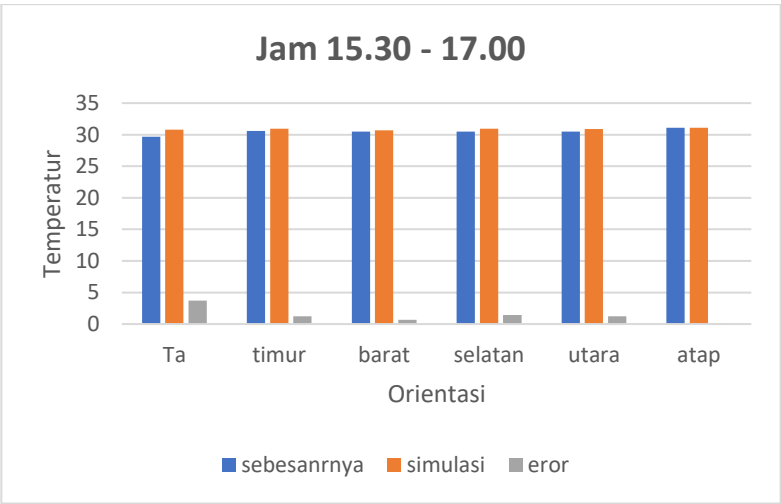
Verifikasi temperatur simulasi dan pengukuran pada jam 11.30 – 12.30 WIB pada ruang bersekat ditunjukkan pada grafik 4.6 dengan kesalahan hasil simulasi terkecil adalah 1,01 % pada orientasi timur dan kesalahan simulasi terbesar adalah 4,26 % pada orientasi selatan.



Grafik 4.6 Verifikasi Temperatur Hasil Simulasi CFD Terhadap Data Pengukuran Pada Jam 11.30 – 12.30 WIB Tidak Bersekat.



Grafik 4.7 Verifikasi Temperatur Hasil Simulasi CFD Terhadap Data Pengukuran Pada Jam 13.30 – 14.30 WIB Tidak Bersekat.

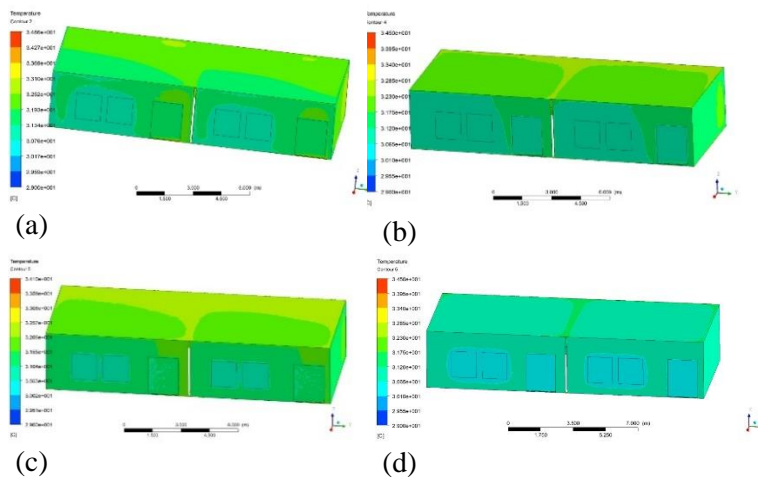


Grafik 4.8 Verifikasi Temperatur Hasil Simulasi CFD Terhadap Data Pengukuran Pada Jam 15.30 – 17.00 WIB Tidak Bersekat.

Grafik 4.8 diatas dapat diinterpretasikan bahwa pada keenam titik pengukuran, nilai temperature pengukuran dan simulasi memiliki kesalahan terkecil jam 15.30 – 17.00 berkisar 0,02 % pada temperature dinding atap. Sedangkan nilai temperature pengukuran dan simulasi memiliki kesalahan terbesar 3,72 % pada temperatur udara dalam ruangan. Dari keseluruhan simulasi telah terverifikasi dengan hasil pengukuran yang mana kesalahan yang dihasilkan kurang dari 10 % sesuai eror yang diizinkan.

4.2 Distribusi Temperatur Didalam Ruang.

Gambar dibawah ini merupakan kontur persebaran temperatur pada dinding dalam ruangan sesuai jam pengukuran.



Gambar 4.1 Kontur persebaran temperatur pada dinding ruangan
 (a) Pada jam 09.00 – 11.00WIB (b) Jam 11.30 – 12.30 WIB (c) Jam 13.30 – 14.30WIB (d) Jam 15.30 – 17.00 WIB

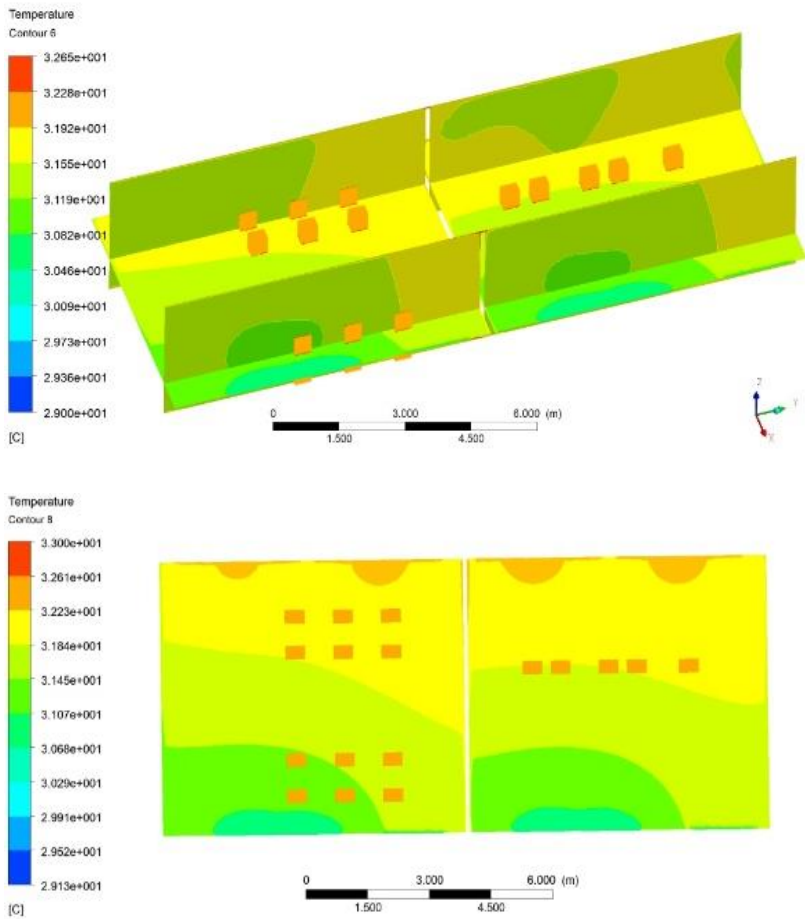
Kontur temperature didalam dinding ruangan dapat dilihat pada gambar diatas, dimana pengambilan data dilakukan pada tanggal 21 Januari 2018. Gambar (a) dan (b) menghadap timur

sedangkan gambar (c) dan (d) menghadap ke barat.. Panas yang dihasilkan oleh dinding ruangan tersebut disebabkan karena adanya radiasi matahari yang terpancar langsung pada dinding. Panas yang dipancarkan matahari dapat diserap oleh dinding karena dinding memiliki massa jenis sehingga dinding dapat menyimpan panas. Kemudian terjadi konveksi panas dari dinding ke lingkungan yang mengakibatkan temperature ambien dalam ruangan akan bertambah panas seiring bertambahnya radiasi matahari yang diserap oleh permukaan dinding bangunan.

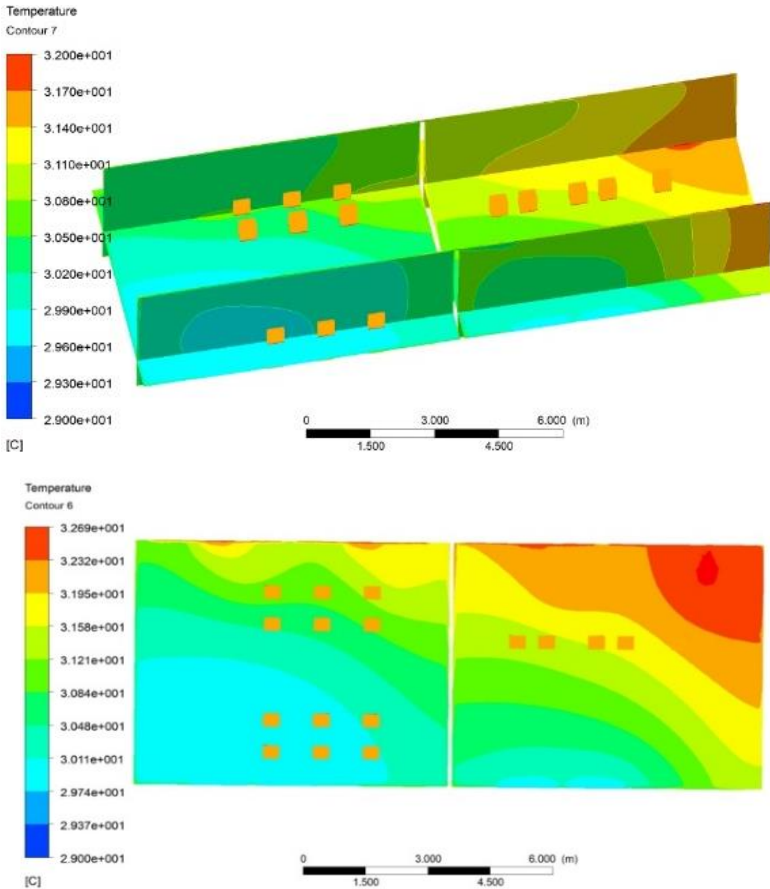
Analisa distribusi temperature ruangan ini penting untuk mengetahui apakah temperature ruangan sudah sesuai dengan temperature yang diharapkan untuk kenyamanan termal. Berikut ini merupakan distribusi temperature didalam ruangan yang menunjukkan temperatur paling besar pada jam 13.30 – 14.30 selama pengukuran, untuk persebaran temperatur pada jam yang lain terdapat pada lampiran A. Simulasi dilakukan berdasarkan waktu pengambilan data dan perbedaan variasi bukaan jendela:

a. Jam 13.30 WIB – 14.30 WIB

Gambar 4.2 dibawah ini merupakan kontur persebaran temperatur ruangan dari variasi jendela dan pintu tertutup semua, dimana tidak ada kecepatan angin yang masuk melalui jendela. Pada variasi 1, temperatur rata – rata ruangan sebesar $31,8^{\circ}\text{C}$. Dari kontur diatas dapat diketahui bahwa orientasi timur memiliki temperatur yang lebih tinggi dari pada bagian barat disebabkan karena bagian timur memiliki jendela lebar yang terbuat dari kaca, dimana kaca dapat menyerap panas yang lebih tinggi dari pada dinding. Kaca juga memiliki koefisien perpindahan panas yang lebih tinggi dibandingkan dinding yaitu sebesar $11,28 \text{ W/m}^2\text{K}$, dinding sebesar $9,03 \text{ W/m}^2\text{K}$. Sehingga laju perpindahan panas akan meningkat sebanding dengan koefisien perpindahan panas.



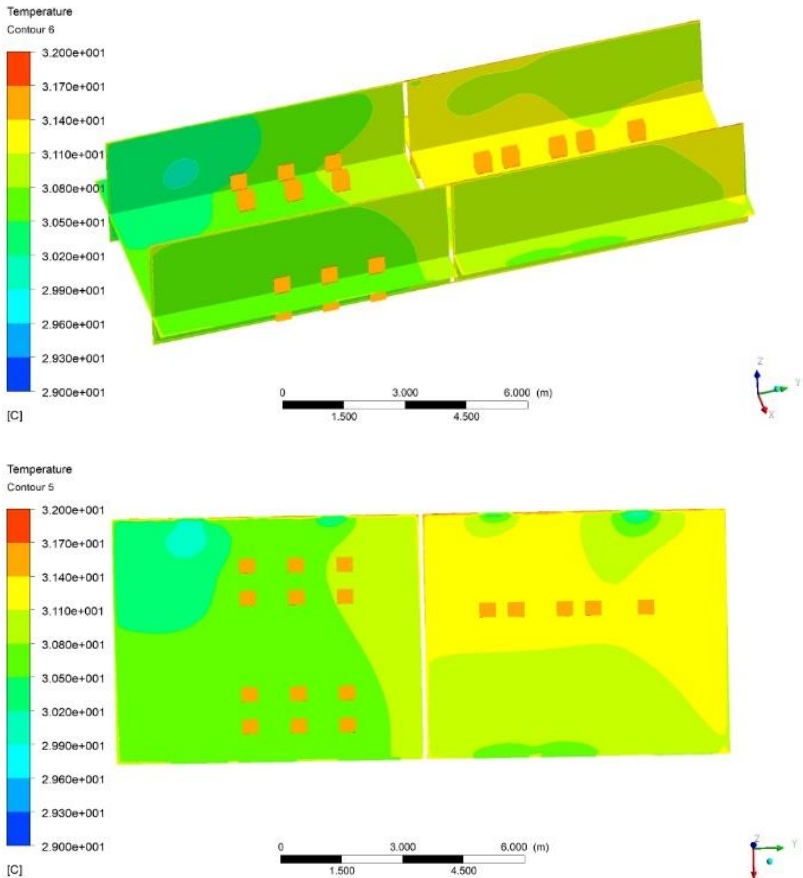
Gambar 4.2 Kontur persebaran temperatur dalam ruangan Variasi 1 (jendela tertutup semua)



Gambar 4.3 Kontur persebaran temperatur dalam ruangan variasi 2 (Jendela barat terbuka)

Pada variasi 2 dengan jendela orientasi barat dibuka menghasilkan persebaran temperature seperti gambar 4.3. Temperatur rata – rata ruangan sebesar 30,9 °C. Pada variasi ini 4 jendela bagian barat dibuka dengan kecepatan angin yang masuk melalui jendela berkisar 0,1 m/s dan 1,4 m/s sehingga terjadi perpindahan panas konveksi alami melalui angin menuju bagian dalam ruangan. Berdasarkan data pengukuran dan hasil simulasi

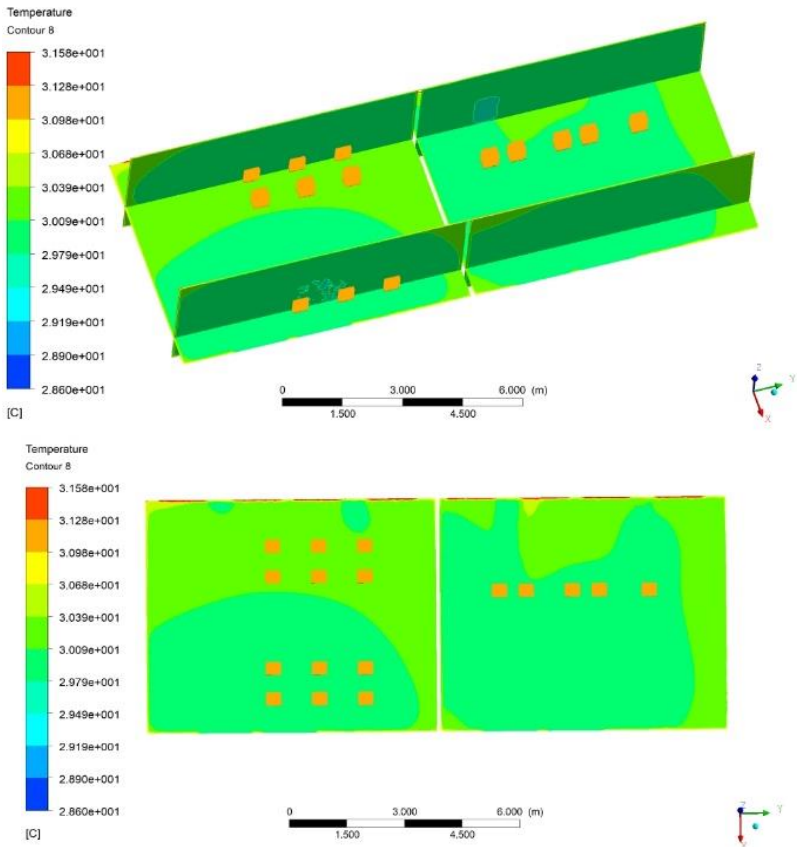
menunjukkan temperatur bagian dinding barat lebih rendah dari pada bagian dinding timur dengan koefisien perpindahan panas konveksi dinding barat sebesar $14,06 \text{ W/m}^2\text{K}$ dan dinding timur $12,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ sehingga temperatur yang lebih rendah pada orientasi barat lebih tersebar luas dari pada bagian timur bangunan.



Gambar 4.4 Kontur persebaran temperature dalam ruangan Variasi 3 (jendela timur terbuka)

Variasi 3 merupakan variasi dengan bukaan jendela bagian timur. Kontur persebaran temperatur seperti pada gambar 4.4 Temperatur rata – rata ruangan sebesar 30,98 °C. Penurunan temperatur rata – rata ruangan pada variasi 3 ini tidak signifikan terhadap variasi 2 yaitu sebesar 0,1 °C. Tetapi terjadi penurunan temperatur rata – rata ruangan sebesar 0,89 °C terhadap variasi 1. Pada variasi ini 4 jendela bagian timur terbuka dengan kecepatan angin yang masuk melalui jendela berturut – turut sebesar 1,2 m/s ; 0,2 m/s ; 0,1 m/s ; 0,5 m/s. Dari hasil kontur persebaran temperatur diatas dapat diketahui temperatur terendah pada warna biru muda yang terletak disekitar jendela bagian timur dimana terjadi pertukaran udara melalui bukaan jendela. Koefisien perpindahan panas konveksi pada dinding barat lebih besar dari pada bagian timur sebesar 13,99 W/m²K dan dinding timur 10,99 W/m²K karena adanya selisih temperatur dinding barat dengan temperatur udara dalam yang kecil yaitu sebesar 0,1 °C dibandingkan dengan selisih dinding timur dengan temperatur udara dalam sebesar 0,41 °C.

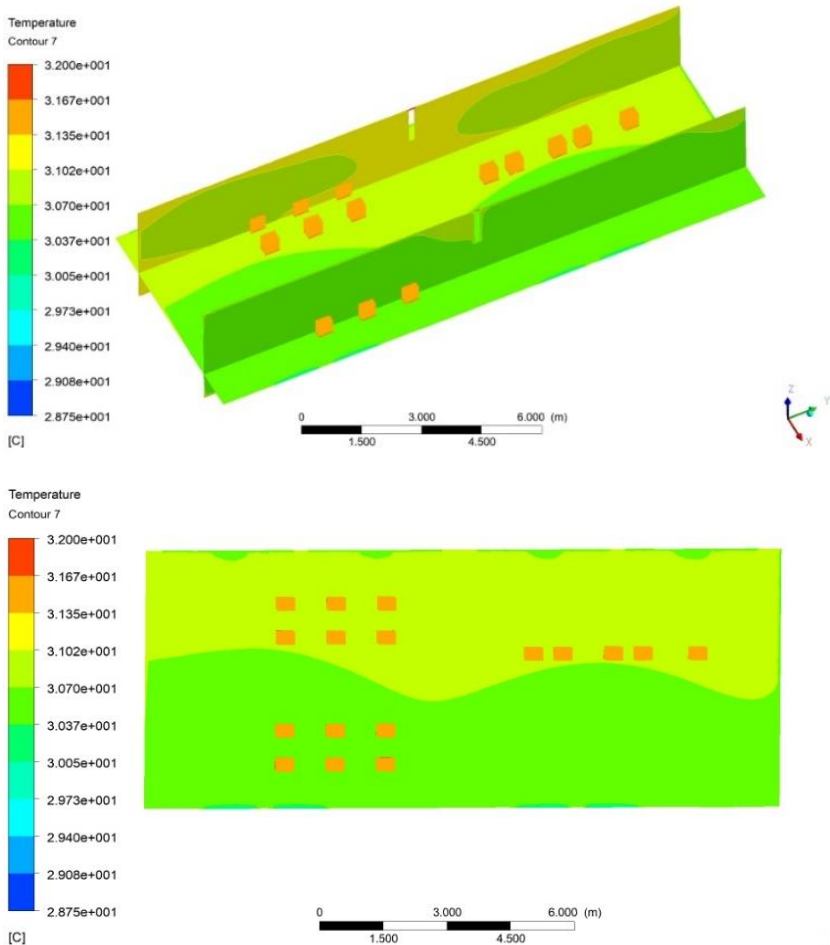
Kontur Persebaran temperatur pada variasi 4 dengan semua jendela terbuka dapat dilihat pada gambar 4.5. Dari hasil simulasi menghasilkan temperatur rata – rata ruangan sebesar 30,15 °C. Temperatur udara dalam yang paling rendah terletak didekat dinding barat dengan temperatur berkisar 29°C.-30°C. Pada variasi 4 ini terjadi penurunan temperatur udara dalam ruangan berkisar 0,75°C-1,65 °C terhadap variasi 1 – variasi 3 dikarenakan adanya perpindahan panas secara konveksi melalui aliran udara yang masuk dan keluar melalui ventilasi alami. Koefisien perpindahan panas secara konveksi sendiri pada dinding barat sebesar 14,89 W/m²K dan dinding timur 7,67 W/m²K sehingga daerah yang dekat dengan dinding barat memiliki temperatur udara ruangan yang lebih rendah dari pada daerah didekat dinding timur.



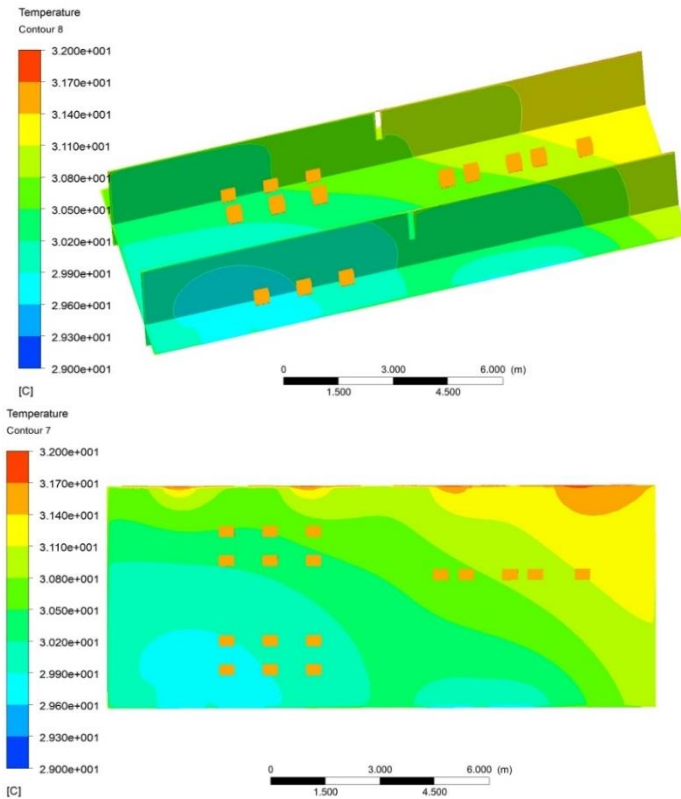
Gambar 4.5 Kontur persebaran temperature dalam ruangan Variasi 4 (jendela terbuka semua)

Variasi 5 merupakan variasi dimana jendela tertutup semua dan dinding sekat tengah terbuka, sehingga udara dapat melewati antar dua ruang. Pada variasi 5 kontur persebaran temperatur dapat dilihat pada gambar 4.6. Dimana temperatur rata – rata ruangan sebesar 30,82°C. Dari persebaran temperatur diketahui temperatur terendah berwarna hijau yang terletak disekitar jendela bagian barat disebabkan karena temperature dinding barat lebih

kecil sebesar $30,17^{\circ}\text{C}$ dan koefisien perpindahan panas konveksi pada dinding barat lebih besar dari pada bagian timur yaitu sebesar $11,45 \text{ W/m}^2\text{K}$. sehingga laju perpindahan panas dinding barat lebih cepat menyebar.



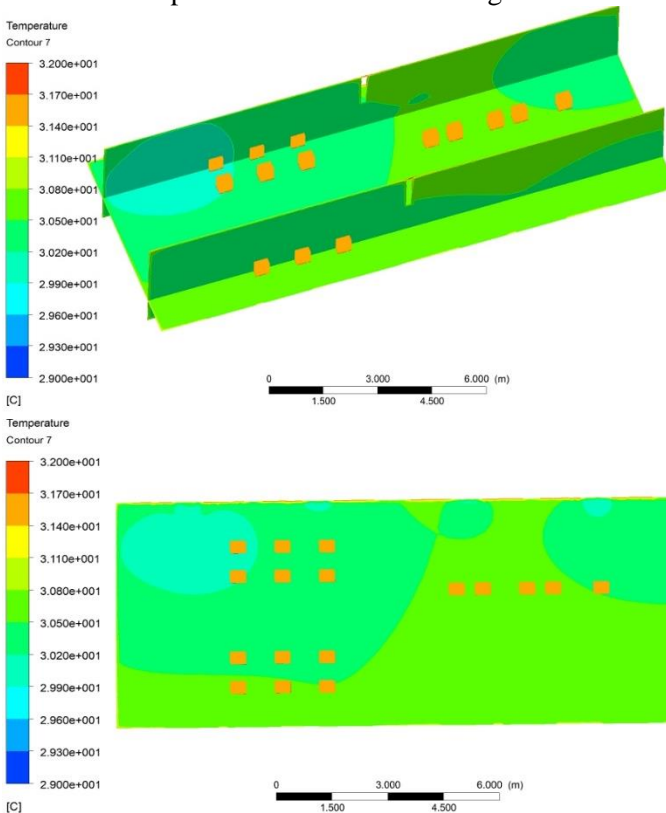
Gambar 4.6 Kontur persebaran temperature dalam ruangan Variasi 5 (jendela tertutup semua) sekat tengah terbuka.



Gambar 4.7 Kontur persebaran temperature dalam ruangan Variasi 6 (jendela barat terbuka) sekat tengah terbuka.

Kontur Persebaran temperatur pada variasi 6 dimana jendela bagian barat dan dinding sekat tengah terbuka dapat dilihat pada gambar 4.7. Dari hasil simulasi menghasilkan temperatur rata – rata ruangan sebesar 30,55 °C. Terjadi penurunan temperatur ruangan sebesar 0,35 °C – 1,25°C dibandingkan dengan variasi 1,2,3 dan 5. Sedangkan jika dibandingkan dengan variasi 4 (jendela dibuka semua, dinding sekat ditutup) variasi 6 ini mengalami kenaikan temperatur dikarenakan udara yang masuk dalam ruangan tidak

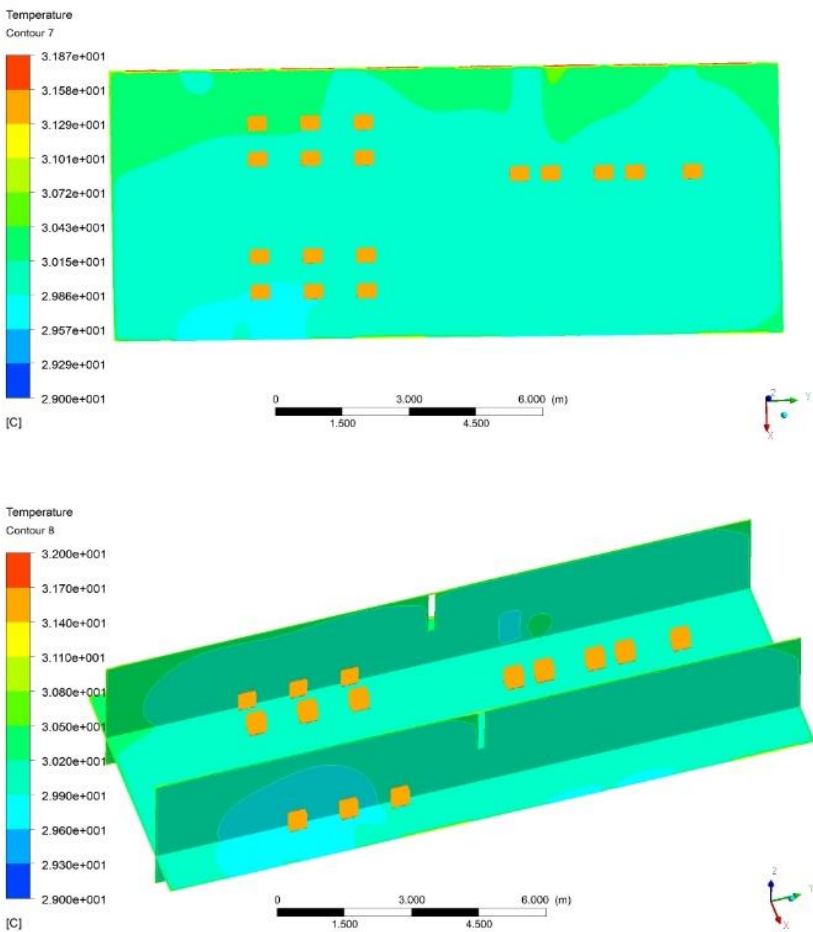
mengakibatkan penurunan temperatur ruangan. Temperatur udara dalam yang paling rendah terletak didekat dinding barat dengan temperatur berkisar 29°C .- 30°C . Koefisien perpindahan panas secara konveksi sendiri pada dinding barat sebesar $14,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ dan dinding timur $9,89 \text{ W/m}^2\text{K}$ sehingga daerah yang dekat dengan dinding barat memiliki temperatur udara ruangan yang lebih rendah dari pada daerah didekat dinding timur.



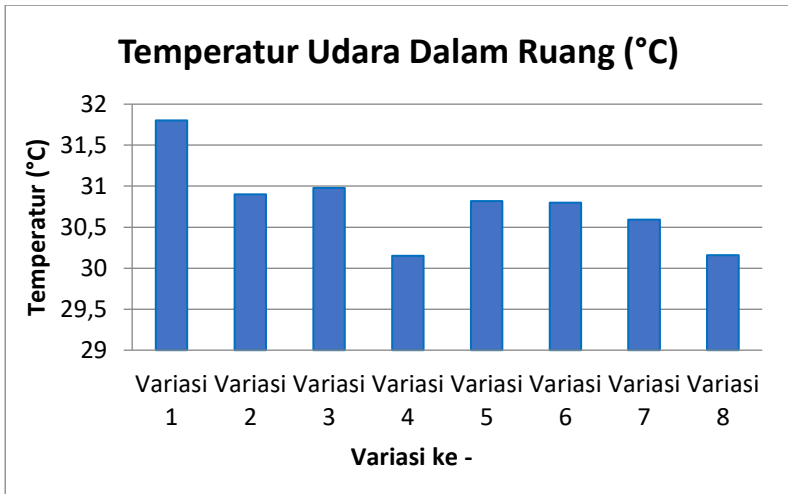
Gambar 4.8 Kontur persebaran temperature dalam ruangan Variasi 7 (jendela timur terbuka) sekat tengah terbuka.

Kontur persebaran variasi 7 dengan jendela bagian timur dan dinding sekat tengah terbuka dapat dilihat pada gambar 4.8. Dari hasil simulasi menghasilkan temperatur rata – rata ruangan sebesar 30,59 °C. Tidak terjadi penurunan pada variasi ini dibandingkan dengan variasi 6, melainkan terjadi kenaikan temperatur berkisar 0,04 °C. Temperatur udara dalam yang paling rendah terletak didekat dinding timur dengan temperatur berkisar 29°C.-30°C dimana terjadi sirkulasi udara akibat adanya ventilasi alami dengan bukaan jendela. Koefisien perpindahan panas secara konveksi sendiri pada dinding barat sebesar 16,7 W/m²K dan dinding timur 8,63 W/m²K sehingga daerah yang dekat dengan dinding barat memiliki temperatur udara ruangan yang lebih rendah dari pada daerah didekat dinding timur.

Variasi selanjutnya adalah variasi 8 dengan jendela dan dinding sekat tengah terbuka semua. Kontur persebaran variasi ini dapat dilihat pada gambar 4.9. Dari hasil simulasi menghasilkan temperatur rata – rata ruangan sebesar 30,16 °C. Pada variasi ini terjadi penurunan sebesar 0,01°C -1,65°C dibandingkan dengan variasi yang lain. Variasi 4 dan 8 merupakan variasi dengan bukaan semua jendela yang menyebabkan penurunan temperatur paling besar berkisar 1,65 °C. Juga terdapat perbedaan antara variasi 4 dan 8 yang mana variasi 4 dinding tengah ditutup sedangkan variasi 8 dinding tengah terbuka, Pada saat dinding tengah terbuka menyebabkan kenaikan temperatur meskipun tida signifikan yaitu berkisar 0,01 °C. Pada variasi 8 temperatur udara dalam yang paling rendah terletak didekat dinding barat yang mana persebarannya hampir menyeluruh seluruh ruangan dengan temperatur berkisar 29°C.-30°C. Koefisien perpindahan panas secara konveksi sendiri pada dinding barat sebesar 13,82 W/m²K dan dinding timur 9,63 W/m²K sehingga daerah yang dekat dengan dinding barat memiliki temperatur udara ruangan yang lebih rendah dari pada daerah didekat dinding timur.



Gambar 4.9 Kontur persebaran temperature dalam ruangan Variasi 8 (jendela terbuka semua) sekat tengah terbuka.



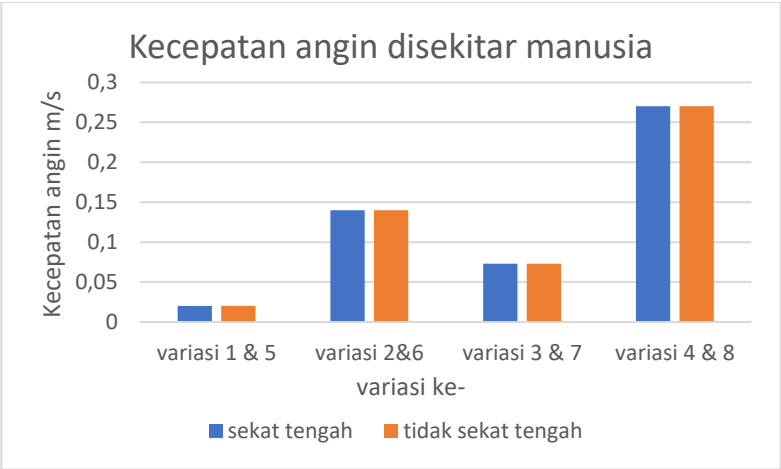
Grafik 4.9 Temperatur udara dalam ruangan dari setiap variasi bukaan jendela

Tabel 4.1 Efek radiasi matahari terhadap temperatur udara dalam ruangan pada variasi 6.

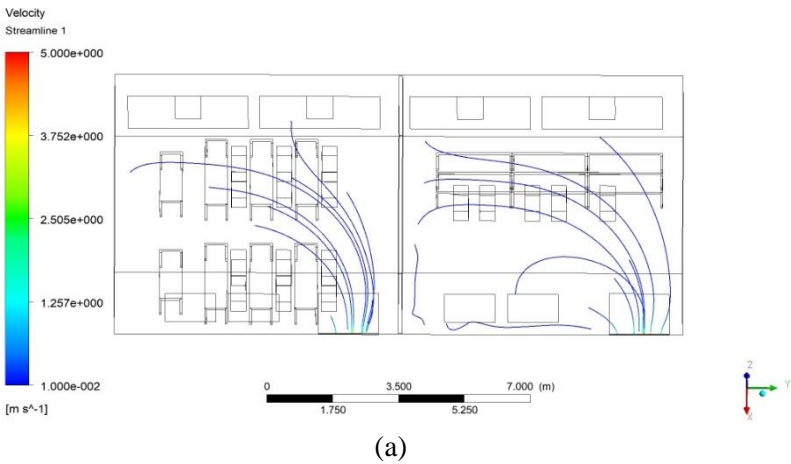
Jam	Temperatur udara dalam °C	Radiasi Matahari (W/m ²)
09.00 - 11.00	31,615	1010,27
11.30 - 12.30	31,71	1027,77
13.30 - 14.30	30,815	1022,64
15.30 - 17.00	30,775	975,518

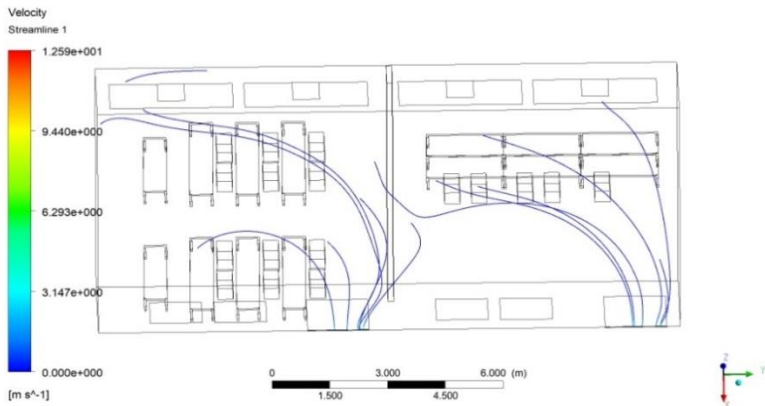
4.3 Distribusi aliran Udara Didalam Ruangan

Berikut ini merupakan distribusi aliran udara didalam ruangan berdasarkan perbedaan variasi .



Grafik 4.10 Kecepatan angin disekitar manusia

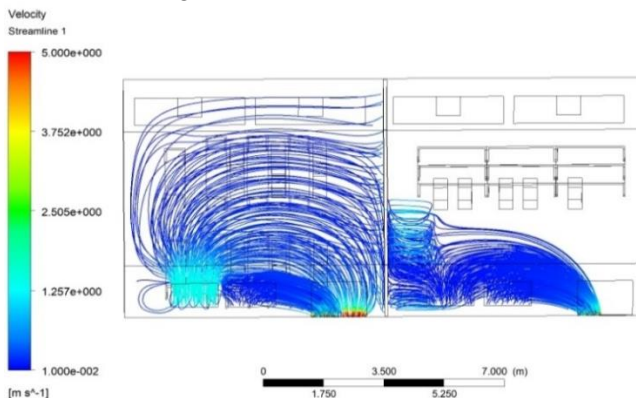




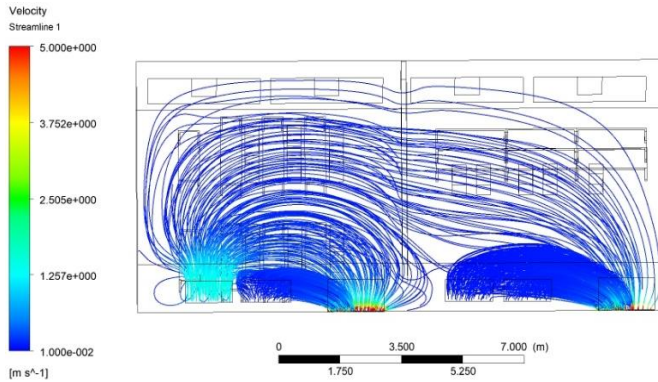
(b)

Gambar 4.10 Persebarab aliran udara (a) variasi 1 dengan sekat tengah dan (b) variasi 5 tanpa sekat tengah.

Gambar diatas merupakan persebaran aliran udara pada ruangan dimana semua jendela tertutup. Sehingga pada keadaan ini tidak terjadi perpindahan panas secara konveksi melalui aliran udara yang masuk dan keluar melalui ventilasi alami. Dari kedua hasil simulasi tidak terdapat perbedaan besarnya kecepatan angin yang mengalir disekitar manusia yaitu rata - rata kecepatan angin pada kedua ruangan adalah 0,02 m/s.



(a)

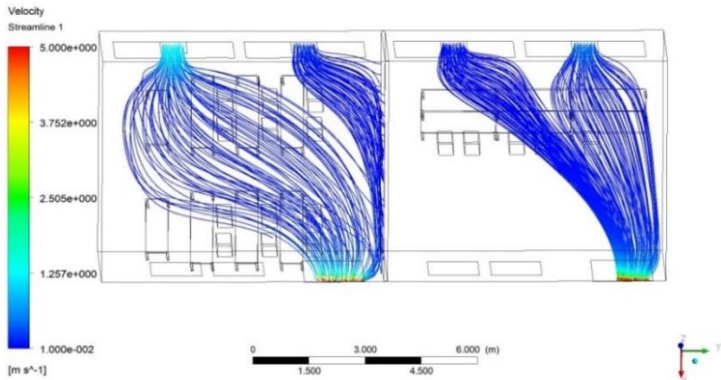


(b)

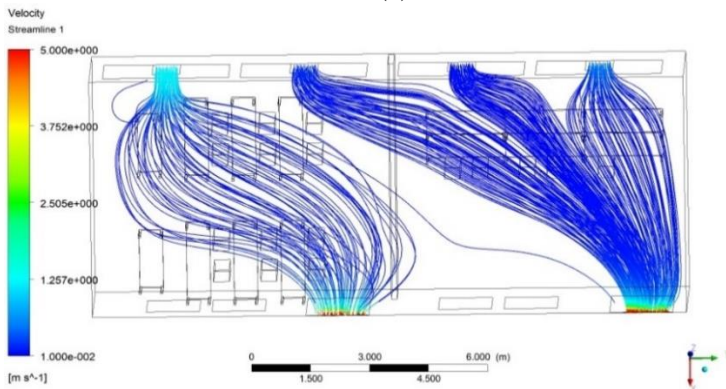
Gambar 4.11 Persebaran aliran udara (a) variasi 2 dengan sekat tengah dan (b) variasi 6 tanpa sekat tengah.

Pada variasi 2 (a) dimana jendela bagian barat dibuka dan sekat tengah ditutup menghasilkan persebaran aliran udara seperti gambar 4.11 (a). Ruang utara menghasilkan persebaran aliran yang memenuhi ruang dengan kecepatan angin berkisar 0,15 m/s dibandingkan dengan ruang selatan yang hanya berkisar 0,085 m/s, ini disebabkan karena udara yang berada di ruang utara terhalang sekat yang tertutup sehingga aliran tidak bisa mengalir menuju ruang selatan. Berbeda dengan aliran udara dengan sekat tengah terbuka pada variasi 6 gambar 4.11 b) . Kecepatan angin rata - rata di daerah dekat manusia pada seluruh ruang tersebut adalah 0,14 m/s.

Sedangkan variasi 3 dan 7 gambar 4.14. Pada variasi ini menghasilkan rata – rata kecepatan angin yaitu 0,073 m/s dan 0,078 m/s.



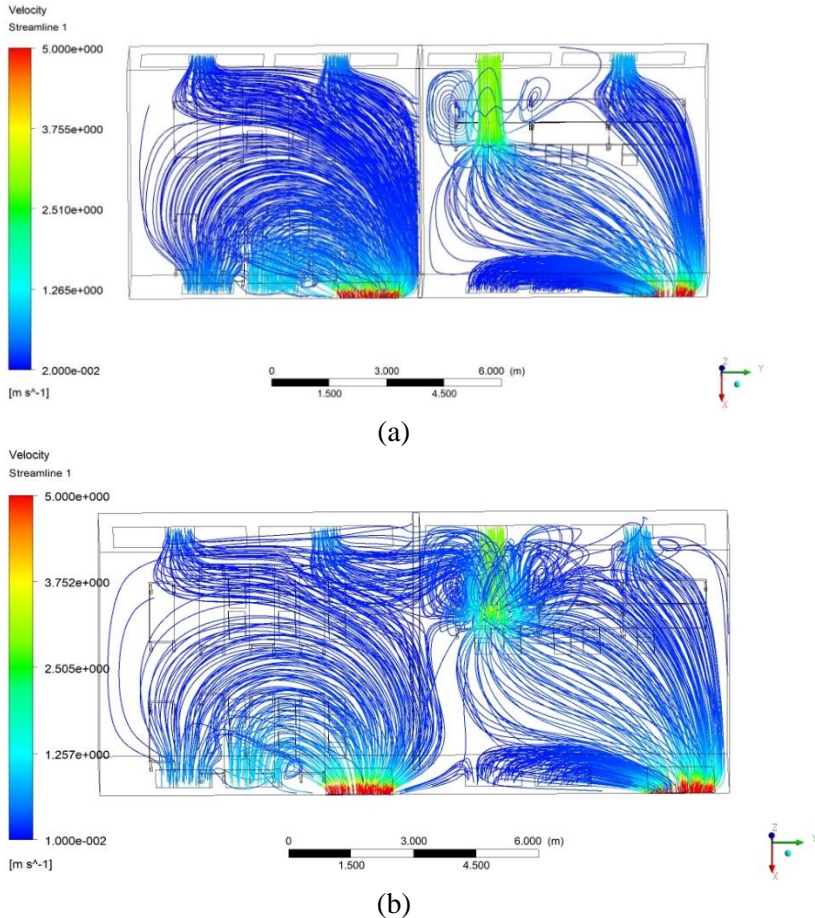
(a)



(b)

Gambar 4.12 Persebaran aliran udara (a) variasi 3 dengan sekat tengah dan (b) variasi 7 tanpa sekat tengah.

Pada variasi 4 dan 8 gambar 4.15 menghasilkan kecepatan angin yang sama besar dengan rata – rata berkisar 0,27 m/s.



Gambar 4.13 Persebaran aliran udara (a) variasi 4 dengan sekat tengah dan (b) variasi 8 tanpa sekat tengah.

4.4 Kenyamanan Termal Pada Manusia

Analisa kenyamanan termal berdasarkan ASHRAE 55, dimana pengukuran tingkat kenyamanan termal pada manusia menggunakan dua metode statistik yaitu indeks PMV (*Predicted Mean Vote*) dan PPD (*Predicted Percentage Dissatisfied*). Faktor yang mempengaruhi kenyamanan termal yaitu :

4.4.1 Temperatur dan Kelembaban

Temperatur udara dalam didapatkan berdasarkan hasil simulasi dari setiap variasi bukaan jendela. Nilai Kelembaban didapatkan dari hasil pengukuran yang sudah dilakukan. Data temperatur dan kelembaban dapat dilihat pada lampiran B.

4.4.2 Kecepatan Angin

Kecepatan aliran udara didalam ruangan didapatkan berdasarkan hasil simulasi yang sudah dilakukan pada setiap variasi dapat dilihat pada lampiran B.

4.4.3 Insulasi Pakaian

Jenis dan bahan pakaian yang dikenakan juga dapat mempengaruhi kenyamanan termal. Salah satu cara manusia untuk dapat beradaptasi dengan keadaan termal di lingkungan sekitarnya adalah dengan cara berpakaian. Pada kondisi ini, ruang baru pasca sarjana digunakan sebagai ruang belajar sebagian besar menggunakan pakaian celana panjang dan kaos berlengan pendek. Sehingga berikut ini besarnya insulasi pakaian yang dipakai :

Tabel 4.2 Insulasi Pakaian

insulasi	Icl (Clo)	Ir (Clo)	Acl/Ask
<i>trouser, short-sleeve shirt</i>	0,57	1,2	1,15

4.4.4 Aktivitas

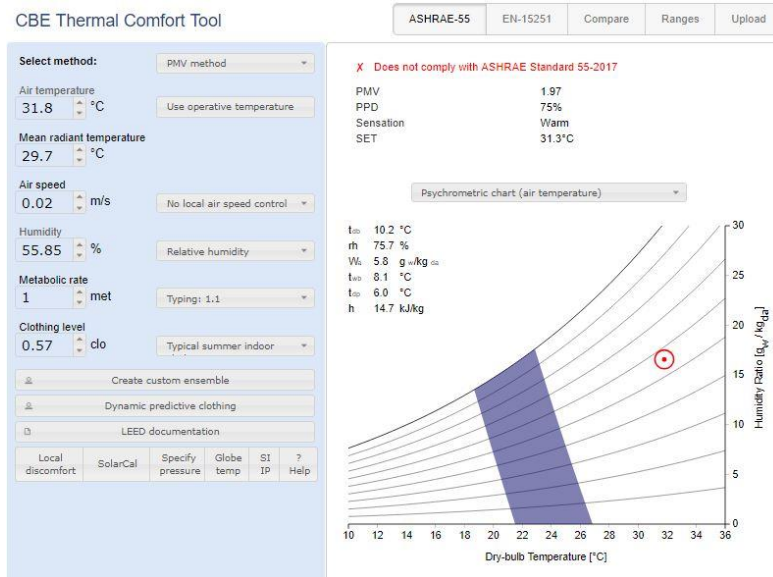
Aktivitas yang dilakukan manusia akan meningkatkan metabolisme tubuhnya. Besarnya nilai metabolisme yang digunakan yaitu

Tabel 4.3 Aktivitas Manusia Didalam Ruangan

Activity	metabolic
<i>reading, seated</i>	1

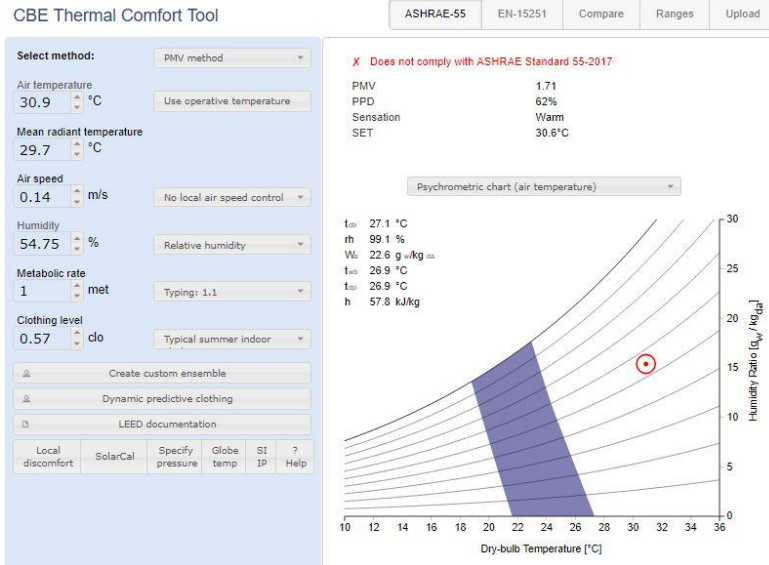
Berdasarkan faktor yang mempengaruhi kenyamanan termal diatas. Didapatkan prediksi kenyamanan termal berdasarkan variasi ventilasi alami pada jam 13.30 – 14.30

dimana memiliki temperatur yang tinggi dan kecepatan angin yang besar adalah:



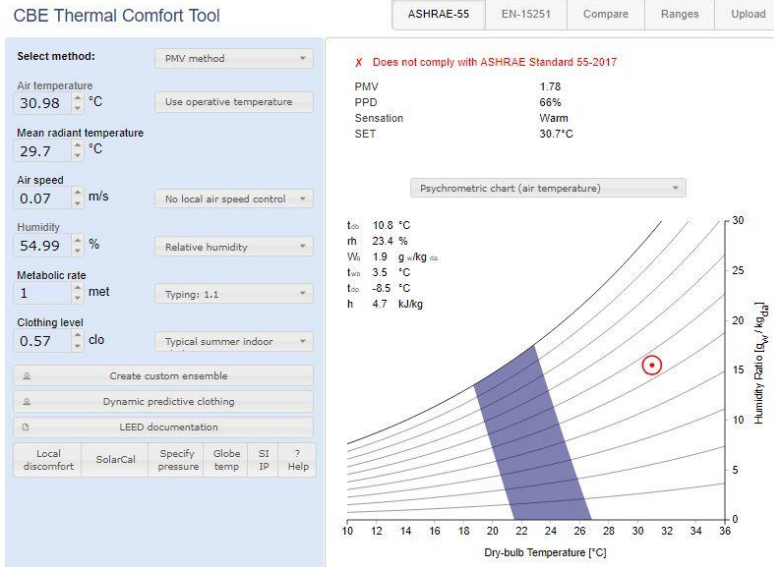
Gambar 4.14 Tingkat Kenyamanan Termal Variasi 1

Pada variasi 1 menghasilkan tingkat kenyamanan termal seperti pada gambar 4.14. Dimana area berwarna biru merupakan daerah tingkat kenyamanan termal netral yang dianjurkan untuk variasi 1 berdasarkan standar ASHRAE yang berada pada rentang temperatur 21,2 °C – 26,5 °C, sedangkan titik merah yang merepresentasikan kondisi variasi 1 ini berada pada posisi dengan temperatur udara 31,8 °C ,RH 54,85 %, Kecepatan angin 0,02 m/s sehingga variasi 1 dikategorikan memiliki keadaan yang hangat dengan tingkat PMV (*Predicted Mean Vote*) sebesar 1,97 dan 75 % penghuni tidak merasakan nyaman.



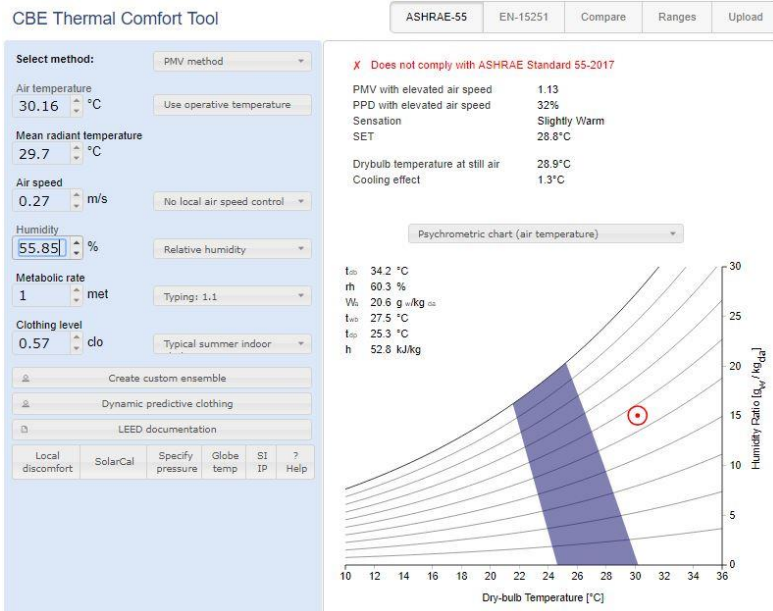
Gambar 4.15 Tingkat Kenyamanan Termal Variasi 2

Berbeda dengan variasi 1, variasi 2 ini posisi titik merah sedikit mendekati pada area kenyamanan termal netral. Disebabkan karena variasi ini memiliki temperatur lebih rendah dari pada variasi 1 yaitu sebesar 30,9 °C, sehingga titik merah bergeser ke kiri mendekati area nyaman. Terdapat juga perbedaan besarnya kecepatan angin, dimana variasi 2 kecepatan anginnnya lebih besar dibanding dengan variasi 1 yaitu sebesar 0,14 m/s yang menyebabkan daerah nyaman termal bergeser kekanan, yang semula pada rentang temperatur 21,2 °C- 26,5 °C dengan adanya kenaikan kecepatan angin menjadi rentang temperatur 21,5 – 27 °C. Meskipun tidak terjadi kenaikan rentang kenyanama yang signifikan. Variasi 2 menghasilkan PMV sebesar 1,71 sehingga menunjukkan keadaan yang hangat dengan tingkat ketidak nyamanan berdasakan penghuni sebesar 62 %.



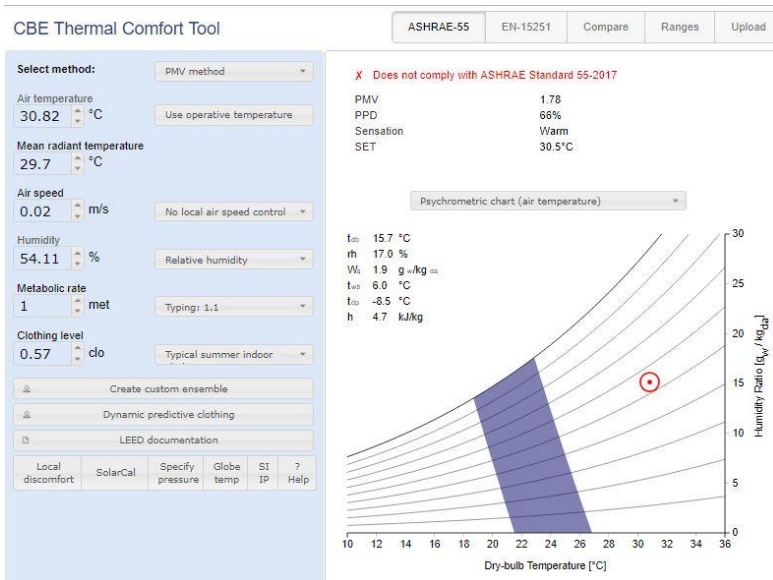
Gambar 4.16 Tingkat Kenyamanan Termal Variasi 3

Dibandingkan dengan variasi 1, variasi 3 ini tidak menunjukkan perbedaan tingkat kenyamanan termal yang signifikan, sama seperti variasi 2. Karena pada variasi 3 temperatur udara sebesar 30,98 °C hanya berselisih 0,08 °C dengan variasi 2 dan kecepatan angin sebesar 0,073 m/s menyebabkan titik merah hanya bergeser kurang lebih 1 °C kekiri mendekati daerah tingkat kenyamanan termal. Nilai PMV variasi ini sebesar 1,78 sehingga kondisinya hangat dan tingkat ketidaknyamanan penghuni sebesar 66%.



Gambar 4.17 Tingkat Kenyamanan Termal Variasi 4

Variasi 4 dimana variasi dengan bukaan semua jendela sehingga menghasilkan temperatur yang lebih rendah dibandingkan dengan variasi 1 yaitu sebesar 30,16 °C dan kecepatan angin yang masuk ke dalam ruangan berkisar 0,27 m/s. Akibat terjadi penurunan temperatur dan kenaikan kecepatan angin dibandingkan dengan variasi 1, variasi 4 ini posisi titik merah berada pada kisaran temperatur 30°C terjadi penurunan 2 °C dan bergeser kekiri mendekati daerah tingkat kenyamanan termal netral. Sedangkan adanya kenaikan kecepatan angin menyebabkan daerah kenyamanan termal netral bergeser kekanan pada rentang temperatur 24,5 °C - 30°C. Sehingga keadaan ini menghasilkan sensasi kenyamanan termal sedikit hangat dengan tingkat PMV 1,13 dan tingkat ketidaknyamanan penghuni sebesar 32%.

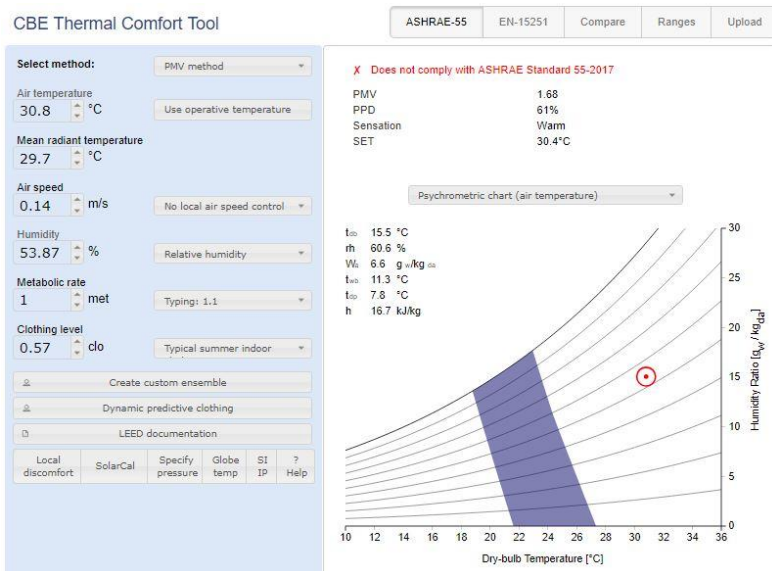


Gambar 4.18 Tingkat Kenyamanan Termal Variasi 5

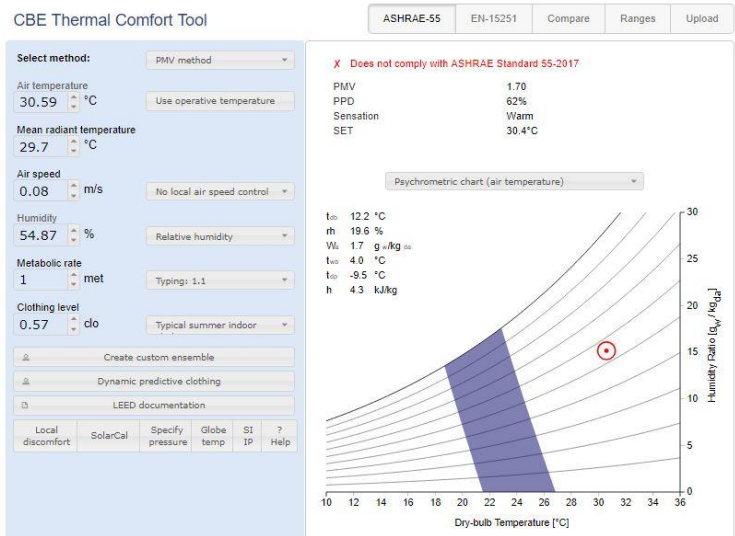
Variasi 5 menghasilkan tingkat kenyamanan termal berdasarkan penghuni yang tidak jauh beda dengan variasi 1. Variasi 1 dan 5 menghasilkan nilai kecepatan angin yang sama besarnya yaitu 0,02 m/s sehingga area kenyamanan termal netral tetap berada pada rentang temperatur 21,5 °C – 26,5 °C. Sedangkan temperatur pada variasi 5 terjadi penurunan sebesar 30,82 °C sehingga posisi titik merah bergeser ke kiri mendekati daerah kenyamanan termal. Besarnya pergeseran posisi variasi 5 dibandingkan dengan variasi 1 tidak terlalu signifikan sehingga variasi 5 menghasilkan sensasi kenyamanan termal yang hangat dengan PMV sebesar 1,78 dan tingkat ketidaknyamanan sebesar 66%.

Pada variasi 6 dibandingkan dengan variasi 1, variasi ini terjadi pergeseran kekanan pada area kenyamanan termal netral yang di rekomendasikan ASHRAE dan terjadi pergeseran kekiri pada titik merah yang mana titik keadaan variasi 6. Pergeseran ini

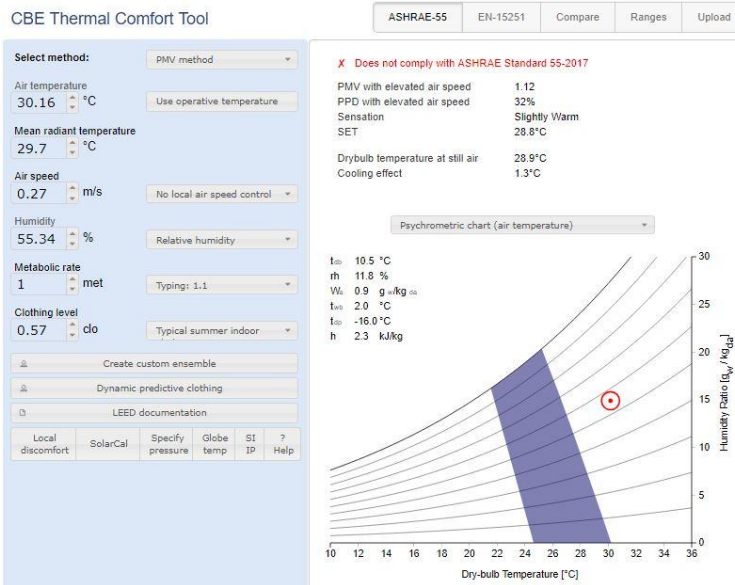
disebabkan karena pada variasi 6 terjadi penurunan temperatur dan kenaikan kecepatan angin yaitu temperatur menjadi 30,8 °C dan kecepatan angin sebesar 0,14 m/s. Dibandingkan dengan variasi 1 yang memiliki temperatur udara 31,8 °C dan kecepatan angin 0,02 m/s. Sehingga variasi 6 memiliki sensasi kenyamanan termal yang hangat dengan PMV sebesar 1,68 dan tingkat ketidaknyamanan sebesar 61% .



Gambar 4.19 Tingkat Kenyamanan Termal Variasi 6



Gambar 4.20 Tingkat Kenyamanan Termal Variasi 7



Gambar 4.21 Tingkat Kenyamanan Termal Variasi 8

Variasi 7 dimana terjadi bukaan jendela bagian timur menghasilkan kenyamanan termal berdasarkan penghuni dengan sensasi hangat. Tetapi terjadi penurunan temperatur dan kenaikan kecepatan angin dibandingkan dengan variasi 1. Sehingga tingkat ketidakpuasan manusia semakin menurun yaitu sebesar 62 % dengan PMV sebesar 1,70.

Pada variasi 8 dengan semua jendela dan dinding sekat tengah terbuka maka terjadi sirkulasi udara pada ruangan tersebut sehingga tingkat kenyamanan termal pada variasi 8 ini menghasilkan sensasi sedikit hangat dibandingkan dengan variasi 1 pada keadaan jendela tertutup semua menghasilkan sensasi hangat. Terjadi penurunan temperatur dan kenaikan kecepatan angin yang mengakibatkan tingkat ketidaknyamanan penghuni menurun menjadi 32 % yang semula sebesar 75 %.

Dari keseluruhan variasi ventilasi alami yang sudah dilakukan menghasilkan tingkat kenyamanan termal bagi penghuni yang paling besar terletak pada variasi 4 dan 8 yaitu pada keadaan dimana semua jendela terbuka, hanya yang membedakan dari kedua variasi tersebut adalah dengan sekat tengah antara dua ruangan yang dibuka dan ditutup. Variasi 4 dan 8 menghasilkan tingkat kenyamanan termal dengan sensasi sedikit panas pada PMV 1,12-1,13 dan tingkat ketidaknyamanan penghuni sebesar 32%. Meskipun hasil dari kenyamanan termal dengan ventilasi alami ini belum 100 % nyaman tetapi ventilasi alami dengan bukaan jendela ini memberikan efek penurunan temperatur dan kenaikan kecepatan angin sehingga kenyamanan termal akan meningkat meskipun tidak terlalu signifikan.

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari hasil analisa tugas akhir ini adalah

1. Variasi 1 menghasilkan rata - rata temperatur paling tinggi yaitu 31,8 °C dan rata - rata kecepatan angin paling rendah yaitu 0,02 m/s.
2. Variasi 4 menghasilkan rata – rata temperatur paling rendah sebesar 30,16 °C dan rata – rata kecepatan angin paling besar berkisar 0,27 m/s.
3. Semakin besar angin yang masuk kedalam ruangan maka temperatur didalam ruangan akan turun akibat adanya perpindahan panas konveksi dari pertukaran angin melalui jendela.
4. Tingkat kenyamanan termal bagi penghuni yang paling besar terletak pada variasi 4 dan 8 menghasilkan tingkat kenyamanan termal dengan sensasi sedikit panas pada PMV 1,13 dan tingkat ketidakpuasan penghuni sebesar 32%.
5. Tingkat kenyamanan termal paling rendah terletak pada variasi 1 yang menghasilkan tingkat kenyamanan termal dengan sensasi panas pada PMV 1,97 dan tingkat ketidakpuasan penghuni sebesar 75 %.

5.2 Saran

Untuk mengetahui tingkat kehilangan panas pada tubuh manusia sehingga diperlukan analisa lebih dalam mengenai konsep radiasi, konveksi dan evaporasi yang terjadi pada tubuh manusia terhadap lingkungan.

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- ASHRAE 55. (2004). *Thermal environmental conditions for human occupancy*.
- BMKG. (2017-2018). *Data Prakiraan cuaca Indonesia*. Surabaya.
- Burrati C, Palladino D, & Moretti E. (2017). Prediction of indoor conditions and thermal comfort using CFD simulations : A case study based on experimental data. *ScienceDirect, Energy Procedia* 126(201709), 115-122.
- Esmay, M. L., & Dixon, J. E. (1986). *Environmental control for agricultural buildings*.
- ISO 7730. (2005). *Ergonomics of the thermal environment- Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria*.
- Kibbaya, & Allan Rogers. (2013). *Thermal comfort analysis of a naturally ventilated building*, University of Gavle. . Kampala-Uganda.
- Pepler, R.D, & Warner, R.E. (1968). Temperature and learning: an experimental study. *ASHRAE Transactions*, 74(1), 211-224.
- S.C, L., & M.Chang. (2000). Indoor and Outdoor Air Quality Investigation at School in Hongkong. *ScienceDirect, Chemosphere* 41:09-113, 109-113.
- Sugiono, & Hardiningtyas, Dewi. (n.d.). Thermal comfort investigation based on Predicted Mean Vote (PMV) index using Computation Fluid Dynamic (CFD) simulation case study : University of Brawijaya, Malang-Indonesia.
- Susanti, L, & Nike, A. (2013). Evaluasi kenyamanan termal ruang sekolah SMA Negeri di Kota Padang. *ISSN 2088-4842*.
- Thomas H.Kuehn, James W. Ramsey, & James L. Threlkeld. (1998). *Thermal environmental engineering third edition*.

LAMPIRAN A

DATA HASIL SIMULASI CFD DAN PENGUKURAN

A1. Variasi 1 Sekat Tengah Tertutup (Jendela Tertutup Semua)

Data Pengukuran(°C)

Jam	timur	barat	selatan	utara	atap
09.00 - 11.00	30,58	29,92	30,17	29,67	32,67
11.30 - 12.30	31,00	30,50	30,83	30,33	32,33
13.30 - 14.30	31,08	31,08	30,83	30,67	32,50
15.30 - 17.00	31,00	30,67	30,50	30,50	31,42

Data Simulasi (°C)

Jam	timur	barat	selatan	utara	atap	Kec. Angin m/s
09.00 - 11.00	32,94	31,36	32,11	31,74	32,9	0,02
11.30 - 12.30	31,75	31,06	31,55	31,18	32,13	0,02
13.30 - 14.30	31,99	31,42	31,7	31,6	32,39	0,02
15.30 - 17.00	31,11	30,9	30,9	30,9	31,21	0,02

Kesalahan Pengukuran dan Simulasi (%)

Jam	Timur	Barat	Selatan	Utara	Atap
09.00 - 11.00	7,71	4,82	6,44	6,99	0,71
11.30 - 12.30	2,42	1,85	2,32	2,79	0,62
13.30 - 14.30	2,92	1,08	2,81	3,04	0,34
15.30 - 17.00	0,35	0,76	1,31	1,31	0,66

A2. Variasi 2 Sekat Tengah Tertutup (Jendela Barat Terbuka)

Data Pengukuran(°C)

Jam	timur	barat	selatan	utara	atap
09.00 - 11.00	30,83	29,83	29,67	30,00	32,50
11.30 - 12.30	30,83	30,67	30,17	30,17	32,25
13.30 - 14.30	31,25	31,25	31,00	31,50	32,67
15.30 - 17.00	30,75	30,50	30,50	30,50	31,75

Data Simulasi (°C)

Jam	timur	barat	selatan	utara	atap	Kec. Angin m/s
09.00 - 11.00	30,83	29,83	29,67	30,00	32,50	0,05
11.30 - 12.30	31,34	31,09	30,70	30,80	31,84	0,14
13.30 - 14.30	31,45	30,66	31,35	31,38	32,10	0,14
15.30 - 17.00	31,21	30,50	31,10	30,90	31,54	0,09

Kesalahan Pengukuran dan Simulasi (%)

Jam	Timur	Barat	Selatan	Utara	Atap
09.00 - 11.00	1,2	0,54	1,3	0,78	1,5
11.30 - 12.30	1,64	1,38	1,77	2,10	1,27
13.30 - 14.30	0,64	1,89	1,13	0,38	1,73
15.30 - 17.00	1,50	0,00	1,97	1,31	0,66

A3. Variasi 3 Sekat Tengah Tertutup (Jendela Timur Terbuka)

Data Pengukuran(°C)

Jam	timur	barat	selatan	utara	atap
09.00 - 11.00	30,50	29,92	30,50	30,50	32,75
11.30 - 12.30	31,00	30,42	30,17	31,00	32,42
13.30 - 14.30	31,50	31,00	30,33	31,33	32,67
15.30 - 17.00	30,67	30,50	30,50	30,50	31,42

Data Simulasi (°C)

Jam	timur	barat	selatan	utara	atap	Kec. Angin m/s
09.00 - 11.00	31,52	31,11	31,60	31,47	32,15	0,03
11.30 - 12.30	31,58	31,15	31,38	31,46	31,96	0,11
13.30 - 14.30	31,45	31,08	31,19	31,06	31,80	0,07
15.30 - 17.00	30,78	30,85	30,91	30,91	30,98	0,1

Kesalahan Pengukuran dan Simulasi (%)

Jam	Timur	Barat	Selatan	Utara	Atap
09.00 - 11.00	3,3	3,91	3,60	3,18	1,83
11.30 - 12.30	1,64	1,38	1,77	2,10	1,27
13.30 - 14.30	0,64	1,89	1,13	0,38	1,73
15.30 - 17.00	1,50	0,00	1,97	1,31	0,66

A4. Variasi 4 Sekat Tengah Tertutup (Jendela Terbuka Semua)

Data Pengukuran(°C)

Jam	timur	barat	selatan	utara	atap
09.00 - 11.00	30,75	29,67	29,83	30,00	32,17
11.30 - 12.30	31,00	29,50	29,33	30,67	32,25
13.30 - 14.30	31,25	31,08	30,67	31,17	32,42
15.30 - 17.00	30,67	30,50	30,50	30,50	31,17

Data Simulasi (°C)

Jam	timur	barat	selatan	utara	atap	Kec. Angin m/s
09.00 - 11.00	31,20	30,40	30,57	31,18	32,09	0,23
11.30 - 12.30	30,62	30,04	30,18	30,50	31,03	0,19
13.30 - 14.30	30,80	30,65	30,53	30,65	31,50	0,27
15.30 - 17.00	30,46	30,37	30,54	30,39	30,67	0,13

Kesalahan Pengukuran dan Simulasi (%)

Jam	Timur	Barat	Selatan	Utara	Atap
09.00 - 11.00	1,46	2,47	2,47	3,93	0,24
11.30 - 12.30	1,23	1,83	2,89	0,54	3,78
13.30 - 14.30	1,44	1,39	0,45	1,66	2,83
15.30 - 17.00	0,67	0,43	0,13	0,36	1,59

A5. Variasi 5 Sekat Tengah Terbuka (Jendela Tertutup Semua)

Data Pengukuran(°C)

Jam	timur	barat	selatan	utara	atap
09.00 - 11.00	29,67	29,17	29,17	30,00	31,83
11.30 - 12.30	31,17	30,58	30,50	31,17	32,50
13.30 - 14.30	31,5	31	30,33	31,33	32,67
15.30 - 17.00	30,58	30,50	30,50	30,50	31,08

Data Simulasi (°C)

Jam	timur	barat	selatan	utara	atap	Kec. Angin m/s
09.00 - 11.00	31,60	30,52	31,08	31,00	32,16	0,02
11.30 - 12.30	32,25	31,47	31,80	31,84	32,83	0,02
13.30 - 14.30	31,52	30,52	31	30,90	31,64	0,02
15.30 - 17.00	30,96	30,70	30,94	30,88	31,09	0,02

Kesalahan Pengukuran dan Simulasi (%)

Jam	Timur	Barat	Selatan	Utara	Atap
09.00 - 11.00	6,52	4,64	6,56	3,35	1,01
11.30 - 12.30	3,48	2,90	4,26	2,16	1,02
13.30 - 14.30	1,17	1,77	2,94	1,25	0,98
15.30 - 17.00	1,23	0,66	1,44	1,25	0,02

A6. Variasi 6 Sekat Tengah Terbuka (Jendela Barat Terbuka)

Data Pengukuran(°C)

Jam	timur	barat	selatan	utara	atap
09.00 - 11.00	29,67	29,17	28,83	29,50	31,67
11.30 - 12.30	30,92	30,58	30,33	30,50	32,50
13.30 - 14.30	30,58	30,33	30,50	30,50	31,50
15.30 - 17.00	30,58	30,33	30,00	30,50	30,50

Data Simulasi (°C)

Jam	timur	barat	selatan	utara	atap	Kec. Angin m/s
09.00 - 11.00	31,50	30,80	31,01	31,30	31,90	0,05
11.30 - 12.30	31,70	30,90	31,20	31,50	32,26	0,11
13.30 - 14.30	30,55	30,30	30,70	30,30	30,89	0,14
15.30 - 17.00	31,11	30,40	30,78	30,60	31,00	0,08

Kesalahan Pengukuran dan Simulasi (%)

Jam	Timur	Barat	Selatan	Utara	Atap
09.00 - 11.00	6,18	5,60	7,55	6,10	0,74
11.30 - 12.30	2,53	1,04	2,86	3,28	0,74
13.30 - 14.30	0,11	0,11	0,66	0,66	1,94
15.30 - 17.00	1,72	0,22	2,60	0,33	1,64

A7. Variasi 7 Sekat Tengah Terbuka (Jendela Timur Terbuka)

Data Pengukuran(°C)

Jam	timur	barat	selatan	utara	atap
09.00 - 11.00	30,42	29,67	29,17	30,50	32,67
11.30 - 12.30	30,83	30,50	30,00	30,50	32,50
13.30 - 14.30	31,50	30,75	30,50	31,00	32,25
15.30 - 17.00	30,50	30,50	30,33	30,50	30,67

Data Simulasi (°C)

Jam	timur	barat	selatan	utara	atap	Kec. Angin m/s
09.00 - 11.00	31,03	30,80	30,70	31,10	31,70	0,03
11.30 - 12.30	30,63	30,84	30,58	30,50	31,59	0,11
13.30 - 14.30	31,12	31,03	30,7	31,03	31,50	0,08
15.30 - 17.00	30,49	30,45	30,44	30,52	30,48	0,1

Kesalahan Pengukuran dan Simulasi (%)

Jam	Timur	Barat	Selatan	Utara	Atap
09.00 - 11.00	2,02	3,82	5,26	1,97	2,96
11.30 - 12.30	0,66	1,11	1,93	0,00	2,80
13.30 - 14.30	0,48	0,52	1,30	0,12	2,69
15.30 - 17.00	0,03	0,16	0,35	0,07	0,61

A8. Variasi 8 Sekat Tengah Terbuka (Jendela Terbuka Semua)

Data Pengukuran(°C)

Jam	timur	barat	selatan	utara	atap
09.00 - 11.00	30,83	29,83	29,50	30,50	33,00
11.30 - 12.30	30,75	29,83	29,50	29,33	32,08
13.30 - 14.30	31,17	30,75	30,50	31,00	32,25
15.30 - 17.00	30,75	30,50	30,50	30,50	31,08

Data Simulasi (°C)

Jam	timur	barat	selatan	utara	atap	Kec. Angin m/s
09.00 - 11.00	30,90	30,34	30,20	30,60	31,58	0,17
11.30 - 12.30	30,51	30,13	30,34	30,09	31,40	0,19
13.30 - 14.30	30,80	30,50	30,50	30,66	31,65	0,27
15.30 - 17.00	30,56	30,42	30,55	30,41	30,63	0,13

Kesalahan Pengukuran dan Simulasi (%)

Jam	Timur	Barat	Selatan	Utara	Atap
09.00 - 11.00	0,22	1,70	2,37	0,33	4,31
11.30 - 12.30	0,78	0,99	2,85	2,58	2,13
13.30 - 14.30	1,18	0,81	0,00	1,10	1,86
15.30 - 17.00	0,62	0,26	0,16	0,30	1,46

LAMPIRAN B**DATA TEMPERATUR AMBIEN, KECEPATAN ANGIN DAN *RELATIVE HUMIDITY* SETIAP VARIASI****B1. Variasi 1 sekat tengah tertutup (jendela tertutup semua)**

Jam	Jendela															
	a (m/s)	Temp °C	b (m/s)	Temp °C	c (m/s)	Temp °C	d (m/s)	Temp °C	e (m/s)	Temp °C	f (m/s)	Temp °C	g (m/s)	Temp °C	h (m/s)	Temp °C
09.00 - 11.00	0	31	0	31	0	35,92	0	35,92	0	31	0	31	0	35,92	0	35,92
11.30 - 12.30	0	30,75	0	30,75	0	32,33	0	32,33	0	30,75	0	30,75	0	32,33	0	32,33
13.30 - 14.30	0	30,92	0	30,92	0	32,75	0	32,75	0	30,92	0	30,92	0	32,75	0	32,75
15.30 - 17.00	0	30,5	0	30,5	0	30,75	0	30,75	0	30,5	0	30,5	0	30,75	0	30,75

Jam	Kec. Angin rata2 didalam ruangan (m/s)	Temp. Udara dalam (°C)	Temp. Udara luar (°C)	RH %	PMV	PPD	Sensasi
09.00 - 11.00	0,02	31,60	30,50	55,70	2,08	80%	warm
11.30 - 12.30	0,02	31,55	31,00	55,40	2,16	83%	warm
13.30 - 14.30	0,02	31,80	29,70	54,85	1,97	75%	warm
15.30 - 17.00	0,02	30,80	28,32	54,98	1,55	53%	warm

B2. Variasi 2 sekat tengah tertutup (jendela barat terbuka)

Jam	Jendela								Kec. Angin rata2 didalam ruangan (m/s)	Temp. Udara dalam (°C)	Temp. Udara luar (°C)	RH %	PMV	PPD	Sensasi
	a (m/s)	Temp (°C)	b (m/s)	Temp (°C)	e (m/s)	Temp (°C)	f (m/s)	Temp (°C)							
09.00 - 11.00	0,1	30,50	0,1	30,50	0,4	30,50	0,4	30,50	0,045	30,59	30,50	56,21	1,9	72%	warm
11.30 - 12.30	0,4	31,00	0,1	31,00	0,1	31,00	1,2	31,00	0,14	30,37	31,00	56,12	1,85	70%	warm
13.30 - 14.30	1,4	29,70	0,1	29,70	0,1	29,70	0,1	29,70	0,14	30,90	29,70	54,75	1,71	62%	warm
15.30 - 17.00	0,5	28,30	0,2	28,30	0,3	28,30	0,8	28,30	0,092	30,62	28,30	54,87	01.44	48%	slightly warm

B3. Variasi 3 sekat tengah tertutup (jendela timur terbuka)

Jam	Jendela								Kec. Angin rata2 didalam ruangan (m/s)	Temp. Udara dalam (°C)	Temp. Udara luar (°C)	RH %	PMV	PPD	Sensasi
	c (m/s)	Temp (°C)	d (m/s)	Temp (°C)	g (m/s)	Temp (°C)	h (m/s)	Temp (°C)							
09.00 - 11.00	0,1	30,50	0,2	30,50	55,75	55,75	55,75	55,75	55,75	55,75	55,75	55,75	1,97	75%	warm
11.30 - 12.30	1,3	31,00	0,8	31,00	56,09	56,09	56,09	56,09	56,09	56,09	56,09	56,09	1,95	75%	warm
13.30 - 14.30	1,2	29,70	0,2	29,70	54,99	54,99	54,99	54,99	54,99	54,99	54,99	54,99	1,78	66%	warm
15.30 - 17.00	0,4	28,30	1,2	28,30	55,12	55,12	55,12	55,12	55,12	55,12	55,12	55,12	10.19	47%	slightly warm

B4. Variasi 4 sekat tengah tertutup (jendela terbuka semua)

Jam	Jendela															
	a (m/s)	Temp (°C)	b (m/s)	Temp (°C)	c (m/s)	Temp (°C)	d (m/s)	Temp (°C)	e (m/s)	Temp (°C)	f (m/s)	Temp (°C)	g (m/s)	Temp (°C)	h (m/s)	Temp (°C)
09.00 - 11.00	0,1	30,50	0,1	30,50	0,1	30,50	1,4	30,50	0,4	30,50	0,2	30,50	1,8	30,50	1,1	30,50
11.30 - 12.30	1,2	31,00	0,1	31,00	0,6	31,00	1,7	31,00	0,1	31,00	0,3	31,00	0,4	31,00	0,7	31,00
13.30 - 14.30	0,6	29,70	1	29,70	0,4	29,70	0,6	29,70	0,1	29,70	0,1	29,70	2,9	29,70	0,8	29,70
15.30 - 17.00	0,1	28,30	0,2	28,30	2	28,30	0,1	28,30	0,1	28,30	0,1	28,30	0,9	28,30	0,1	28,30

Jam	Kec. Angin rata2 didalam ruangan (m/s)	Temp. Udara dalam (°C)	Temp. Udara luar (°C)	RH %	PMV	PPD	Sensasi
09.00 - 11.00	0,23	30,50	30,50	55,80	1,42	47%	slightly warm
11.30 - 12.30	0,19	30,19	31,00	57,30	1,59	56%	warm
13.30 - 14.30	0,27	30,16	29,70	55,85	1,13	32%	slightly warm
15.30 - 17.00	0,13	30,18	28,30	55,88	1,36	43%	slightly warm

B5. Variasi 5 sekat tengah terbuka (jendela tertutup semua)

Jam	Jendela															
	a (m/s)	Temp (°C)	b (m/s)	Temp (°C)	c (m/s)	Temp (°C)	d (m/s)	Temp (°C)	e (m/s)	Temp (°C)	f (m/s)	Temp (°C)	g (m/s)	Temp (°C)	h (m/s)	Temp (°C)
09.00 - 11.00	0	30,33	0	30,33	0	33,58	0	33,58	0	30,33	0	30,33	0	33,58	0	33,58
11.30 - 12.30	0	31,25	0	31,25	0	33,17	0	33,17	0	31,25	0	31,25	0	33,17	0	33,17
13.30 - 14.30	0	30,5	0	30,5	0	30,67	0	30,67	0	30,5	0	30,5	0	30,67	0	30,67
15.30 - 17.00	0	30,33	0	30,33	0	30,83	0	30,83	0	30,33	0	30,33	0	30,83	0	30,83

Jam	Kec. Angin rata2 didalam ruangan (m/s)	Temp. Udara dalam (°C)	Temp. Udara luar (°C)	RH %	PMV	PPD	Sensasi
09.00 - 11.00	0,02	31,62	30,50	55,68	2,08	80%	warm
11.30 - 12.30	0,02	31,71	31,00	54,33	2,17	83%	warm
13.30 - 14.30	0,02	30,82	29,70	54,11	1,78	66%	warm
15.30 - 17.00	0,02	30,78	28,30	52,50	1,5	51%	slightly warm

B6. Variasi 6 sekat tengah terbuka (jendela barat terbuka)

Jam	Jendela								Kec. Angin rata2 didalam ruangan (m/s)	Temp. Udara dalam (°C)	Temp. Udara luar (°C)	RH %	PMV	PPD	Sensasi
	a (m/s)	Temp (°C)	b (m/s)	Temp (°C)	e (m/s)	Temp (°C)	f (m/s)	Temp (°C)							
09.00 - 11.00	0,1	30,50	0,1	30,50	0,4	30,50	0,4	30,50	0,05	31,82	30,50	54,5	2,09	81%	warm
11.30 - 12.30	0,4	31,00	0,1	31,00	0,1	31,00	1,2	31,00	0,11	31,05	31,00	55,825	2	77%	warm
13.30 - 14.30	1,4	29,70	0,1	29,70	0,1	29,70	0,1	29,70	0,14	30,80	29,70	53,87	1,68	61%	warm
15.30 - 17.00	0,5	28,30	0,2	28,30	0,3	28,30	0,8	28,30	0,089	30,60	28,30	53,25	1,42	47%	slightly warm

B7. Variasi 7 sekat tengah terbuka (jendela timur terbuka)

Jam	Jendela								Kec. Angin rata2 didalam ruangan (m/s)	Temp. Udara dalam (°C)	Temp. Udara luar (°C)	RH %	PMV	PPD	Sensasi
	c (m/s)	Temp (°C)	d (m/s)	Temp (°C)	g (m/s)	Temp (°C)	h (m/s)	Temp (°C)							
09.00 - 11.00	0,1	30,50	0,2	30,50	0,1	30,50	0,1	30,50	0,03	31,13	30,50	54,93	1,99	76%	warm
11.30 - 12.30	1,3	31,00	0,8	31,00	0,6	31,00	0,1	31,00	0,11	30,47	31,00	56,75	1,87	71%	warm
13.30 - 14.30	1,2	29,70	0,2	29,70	0,1	29,70	0,5	29,70	0,08	30,59	29,70	54,87	1,67	62%	warm
15.30 - 17.00	0,4	28,30	1,2	28,30	1,1	28,30	0,4	28,30	0,10	30,17	28,30	53,54	1,33	42%	slightly warm

B8. Variasi 8 sekat tengah terbuka (jendela terbuka semua)

Jam	Jendela															
	a (m/s)	Temp (°C)	b (m/s)	Temp (°C)	c (m/s)	Temp (°C)	d (m/s)	Temp (°C)	e (m/s)	Temp (°C)	f (m/s)	Temp (°C)	g (m/s)	Temp (°C)	h (m/s)	Temp (°C)
09.00 - 11.00	0,1	30,50	0,1	30,50	0,1	30,50	1,4	30,50	0,4	30,50	0,2	30,50	1,8	30,50	1,1	30,50
11.30 - 12.30	1,2	31,00	0,1	31,00	0,6	31,00	1,7	31,00	0,1	31,00	0,3	31,00	0,4	31,00	0,7	31,00
13.30 - 14.30	0,6	29,70	1	29,70	0,4	29,70	0,6	29,70	0,1	29,70	0,1	29,70	2,9	29,70	0,8	29,70
15.30 - 17.00	0,1	28,30	0,2	28,30	2	28,30	0,1	28,30	0,1	28,30	0,1	28,30	0,9	28,30	0,1	28,30

Jam	Kec. Angin rata2 didalam ruangan (m/s)	Temp. Udara dalam (°C)	Temp. Udara luar (°C)	RH %	PMV	PPD	Sensasi
09.00 - 11.00	0,17	30,32	30,50	55,21	1,57	55%	warm
11.30 - 12.30	0,19	30,20	31,00	56,28	1,58	55%	warm
13.30 - 14.30	0,27	30,16	29,70	55,34	1,12	32%	slightly warm
15.30 - 17.00	0,13	30,23	28,30	55,12	1,36	43%	slightly warm

BIOGRAFI PENULIS



Mustahana lahir pada tanggal 18 September 1994 di Nganjuk. Penulis mengawali studi di SDN Baron 1, Baron – Nganjuk (2001 – 2007). Penulis melanjutkan studi di SMP Negeri 1 Tanjunganom, Nganjuk (2007-2010) dan berlanjut ke SMA Negeri 1 Kertosono (2010-2013). Penulis melanjutkan memilih jurusan D3 Metrologi dan Instrumentasi – Teknik Fisika- FTI- ITS pada tahun 2013 dan lulus tahun 2016 dengan mengambil judul tugas akhir

“Design of Current and Voltage Monitoring System On Charging Battery in PLTS Mini Plant Using Wireless Communication.

Kemudian penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang S1 di Jurusan Teknik Fisika – FTI - ITS tahun (2016-2018) mengambil bidang minat Rekayasa Energi dan Pengkondisian Lingkungan dengan judul tugas akhir *“Prediction Of Thermal Comfort In New After Graduate Building Of Engineering Physics Department”*.

Alamat korespondensi dengan penulis : hana.musta45@gmail.com